



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e  
Ingeniería Química

PROYECTO FIN DE CARRERA

# Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU

Autor: Alejandro Lasheras Romero

Tutor: Antonio Aznar Jiménez

Co-director: Juan Carlos Cabanelas Valcarcel

Leganés, Junio de 2012

# Agradecimientos

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a los profesores D. Antonio Aznar Jiménez como Tutor y a D. Juan Carlos Cabanelas Valcarcel como Co-director por la ayuda inestimable para la realización de este proyecto fin de carrera, ya que me han facilitado enormemente el último paso necesario para llegar a la meta final.

Estos años en la universidad reconozco que han sido muy duros. Trabajar y estudiar una carrera de este tipo requieren unos sacrificios extras de los cuales me siento profundamente orgulloso. Quizás podría haber terminado antes, pero garantizo que nadie más que yo necesitaba que llegara lo más rápido posible este momento. Estos años universitarios me han formado como persona, he aprendido mucho y será una etapa de mi vida que jamás olvidaré. Por este motivo debo empezar los agradecimientos por las personas que mas me han ayudado estos años en Leganés. Vanesa que en el tramo inicial fue un apoyo importante. Andrés que hemos compartido mucho más que apuntes y horas de estudio. Ángel que sin su aportación de apuntes y ayudas en el tramo final hubiera sido mucho más difícil y casi imposible. Y por supuesto a Mario, nuestros caminos académicos se separaron hace mucho tiempo pero esas mañanas, esas tardes y esas noches en la biblioteca que hemos compartido hasta hace bien poco han sido fundamentales para mí. Me llevo de esta universidad dos cosas muy importantes un título y tu amistad.

No puedo dejar pasar la oportunidad de agradecer ya fuera del entorno académico la amistad de Jose, Víctor y Joselu. Estos años siempre han estado cuando les he necesitado. Y sobre todo a Rubén y Jesús, compartís conmigo las locuras y pasiones que siempre han marcado mi vida y que seguimos disfrutando a pesar de los años

Pero todo esto que ha pasado en estos años y en toda mi vida jamás hubiera sido posible sin la figura de mi padre Juan Carlos, mi madre María Luisa y mi hermano Carlos. Lo que he sido, lo que soy y lo que seré, sin distinciones se lo debo todo a ellos, absolutamente todo. Cada uno en su faceta y dentro de sus posibilidades, han aportado lo que como hijo y hermano he necesitado. Os estaré eternamente agradecido

Guardo el último y más especial agradecimiento para Sara, la persona que más cerca ha estado conmigo estos últimos años. No hay suficientes líneas ni es el lugar para expresar lo que significas para mí. Me has aportado la serenidad y tranquilidad necesaria que me ha permitido llegar hasta aquí. Tu apoyo total e incondicional en todos los aspectos de mi vida ha sido pieza clave. Nadie más que tú ha confiado tanto en mí, en mis posibilidades, en mi éxito. Nunca olvidaré todo lo que has hecho, todo lo que me aportas y todo lo que me has valorado. Mi más sincero y profundo agradecimiento.

Gracias

## INDICE

### *Resumen*

<b>0. RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>TRADUCCIÓN DEL RESUMEN: .....</b>	<b>3</b>

### *Memoria*

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 OBJETIVO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 GESTIÓN DEL AGUA.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4 BASES DE PARTIDA.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 NECESIDAD DE SISTEMAS DE BOMBEO EN UNA EDARU .....</b>	<b>13</b>
<b>2. NORMATIVA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 NORMATIVA REFERENTE AL AGUA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 NORMATIVA ELÉCTRICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3. UBICACIÓN DE LA PLANTA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 OBRA CIVIL.....</b>	<b>22</b>
<b>4. MATERIA PRIMA .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 DESCRIPCIÓN AGUA RESIDUAL .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA RESIDUAL .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS: .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4 PROPIEDADES BIOLÓGICAS .....</b>	<b>25</b>
<b>4.5 CONTAMINANTES EN EL TRATAMIENTO .....</b>	<b>25</b>
<b>5. PROCESOS DE DEPURACIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 RESUMEN DE LOS PROCESOS DE DEPURACIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 OBRA DE LLEGADA .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 PRETRATAMIENTO .....</b>	<b>32</b>
<b>5.4 TRATAMIENTO PRIMARIO .....</b>	<b>35</b>
<b>5.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....</b>	<b>36</b>
<b>5.6 TRATAMIENTO TERCIARIO .....</b>	<b>37</b>

5.7 VERTIDO DEL EFLUENTE .....	37
6. BOMBEO DE AGUA.....	38
6.1 NECESIDAD DEL BOMBEO DEL AGUA .....	38
6.2 TIPOS DE BOMBAS:.....	38
6.3 ACCESORIOS .....	40
6.4 BOMBEO CABECERA DE PLANTA.....	42
6.5 BOMBEO RECIRCULACIÓN .....	46
7 ESTUDIO HIDRÁULICO .....	50
7.1 NECESIDAD DEL ESTUDIO HIDRÁULICO.....	50
7.2 PERDIDAS DE CARGA .....	51
7.3 DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS.....	55
7.4 LÍNEA PIEZOMÉTRICA .....	55
8. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES Y MANTENIMIENTO .....	57
8.1 PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.....	57
8.2 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	58
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	64
REFERENCIA DE IMÁGENES.....	67
REFERENCIA DE TABLAS .....	69
ANEXO 1 CÁLCULOS HIDRÁULICOS .....	71
1. PERDIDA CARGA EN EQUIPOS .....	71
2. PERDIDAS EN TRAMOS Y CONEXIONES .....	75
3. COMPROBACIÓN DE LAS TUBERÍAS.....	80
ANEXO 2 CÁLCULO BOMBEO .....	83
1. CÁLCULO DEL POZO DE BOMBEO .....	83
2. POZO BOMBEO CABECERA DE ENTRADA .....	84
3. POZO BOMBEO RECIRCULACIÓN.....	89
ANEXO 3 CÁLCULOS ELÉCTRICOS .....	94
1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA BOMBEO DE CABECERA.....	100
2. INSTALACIÓN ELÉCTRICA BOMBEO DE RECIRCULACIÓN .....	103
ANEXO 4 PRESUPUESTOS.....	107
CAPÍTULO 1 BOMBEO CABECERA DE PLANTA .....	107
CAPÍTULO 2 BOMBEO RECIRCULACIÓN .....	108
PRESUPUESTOS PARCIALES.....	109
CAPÍTULO 1 BOMBEO CABECERA DE PLANTA .....	109



<b>CAPÍTULO 2 BOMBEO RECIRCULACIÓN .....</b>	<b>110</b>
<b>RESUMEN PRESUPUESTO SISTEMA DE BOMBEO EDAR .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 5 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>113</b>
<b>1. REFERENCIAS .....</b>	<b>113</b>
<b>2. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO 6 PLANOS.....</b>	<b>116</b>
<b>PLANO 1 DESPIECE BOMBA 150DML 511 .....</b>	<b>116</b>
<b>PLANO 2 DESPIECE BOMBA 150DML 57.5 .....</b>	<b>117</b>
<b>PLANO 3 DIMENSIONES BOMBA 150 DML 511 .....</b>	<b>118</b>
<b>PLANO 4 DIMENSIONES BOMBA 150 DML 57.5 .....</b>	<b>119</b>
<b>PLANO 5 ESQUEMA ELÉCTRICO BOMBEO DE CABECERA.....</b>	<b>120</b>
<b>PLANO 6 ESQUEMA ELÉCTRICO BOMBEO RECIRCULACIÓN .....</b>	<b>121</b>
<b>PLANO 7 DIAGRAMA CONTROL BOMBAS .....</b>	<b>122</b>

## ***Resumen***

## 0. RESUMEN

El objetivo final del proyecto es el estudio y dimensionamiento de las bombas que forman parte de la línea de agua de una estación depuradora de aguas residuales urbanas (EDARU).

Una estación depuradora de agua residual es simplemente una fábrica de agua limpia que trata los vertidos procedentes del alcantarillado, efluentes industriales o de lluvias para adecuarlos a su uso posterior o ser entregados a los efluentes naturales en unas condiciones sanitarias y ambientales adecuadas que eviten daños en el ecosistema. La directiva europea 91/271/CEE, sentó las bases para regular el tratamiento de aguas, que en España se adaptó en el real decreto de 1995 RDL 11/1995 en el que se recogen las normas básicas de protección del agua.

Para llevar a cabo esta misión, la estación depuradora estará formada por distintos procesos que consiguen eliminar las sustancias y propiedades que adquiere el agua por el consumo y uso en este caso urbano. Para circular el agua a lo largo de la planta es necesario dotar a la estación de un sistema de impulsión que envíe el agua a una velocidad y presión mínimas que a través de la depuradora por medio de un sistema de presión por gravedad desde la salida del pozo de bombeo hasta la arqueta de salida hacia el efluente. Por lo tanto se dimensionará el sistema de bombeo en cabecera de planta y además se estudiara el sistema de bombeo necesario para la recirculación de fangos generados en el reactor biológico, y sedimentados en el decantador secundario, que van a parar otra vez a la entrada del reactor biológico y por tanto a la línea de agua.

El proyecto se centra en el cálculo de la línea piezométrica, punto clave en el dimensionamiento de las bombas, que se obtiene con la suma de las pérdidas de carga de los distintos procesos, accesorios y equipos que componen la EDARU. Una vez escogidas las bombas se realizará un estudio de los componentes eléctricos y electrónicos necesarios para el control y funcionamiento de los equipos y accesorios de bombeo.

### Traducción del resumen:

The ultimate aim is the study and design of pumps that are part of the Water line of a purification of urban wastewater

A wastewater plant simply is a clean water plant treats sewage discharges for later are delivered to the natural effluent in a conditions suitable to avoid damage to the ecosystem. The European directive 91/271/CEE, provided the basis for regulating water treatment, which in Spain was adapted in the royal decree of 1995 RDL 11/1995 which sets out the basic standards of water protection

To carry out the mission, the treatment water plant will consist of different processes that manage to eliminate the substances and properties by the water consumption and urban use. For circulating water throughout the plant is necessary to send the water with a speed and minimum pressure thought the plant by means of a gravity system pressure from the output of pumping well to the casket out of effluence. Therefore the plant will be dimensioned in the pumping system header plant and further study the necessary pump system for recirculation of sludge generated in the biology reactor and sedimented in the secondary clarifier, which again circulating to entry of biological reactor in the line water

The Project was based on the calculation of the hydraulic grade line, key in the pump design, obtained with the sum of the load losses in the different processes, accessories and equipment that make up the wastewater plant. Once the pumps were selected to conduct a study of electrical and electronic components required for the control and operation of pumping equipment and accessories



# ***MEMORIA***

## 1. Introducción

### 1.1 Objetivo

El objetivo como ya se ha comentado anteriormente es el estudio y diseño del bombeo principal y el bombeo de recirculación de la línea de agua de una central EDARU de acuerdo con los criterios de capacidad de la estación, criterios económicos y una viabilidad estimada de un mínimo de 20 años.



**Imagen 1. Vertido incontrolado aguas residuales**  
Fuente: Universidad del País Vasco;  
<http://www.ehu.es>

### 1.2 Justificación

El tratamiento de aguas es fundamental para reducir el impacto medioambiental de los residuos procedentes de núcleos de población e industrias y que deben ser tratados para evitar los vertidos incontrolados que afecten directamente a los recursos hidráulicos actuales.



**Imagen 2. Vertido EDAR Murcia-Este al Rio Segura**  
Fuente: <http://vivelaventura.com>

Los residuos generados en su parte líquida, que llamamos aguas residuales, proceden de distintos orígenes y pueden ser mezcladas con aguas subterráneas y pluviales. Suele ser común diferenciar las estaciones residuales que tratan los vertidos procedentes de poblaciones y de industrias.

Una vez que el líquido llega a la estación depuradora, una serie de tratamientos permiten que el agua sea entregada al medio fluvial en unas condiciones óptimas, y para conseguir estos objetivos es necesario dotar a la planta de una serie de bombas que garanticen la circulación por la planta del agua con unas condiciones de presión, gravedad y velocidad adecuadas para el proceso de depuración. Por lo tanto el estudio del sistema de bombeo de la línea de agua es una parte fundamental dentro del diseño de una EDARU, y en este caso, eje central de este proyecto.

La línea de agua necesita disponer de una presión correcta en cabecera de planta para la consecución de todos los procesos y a su vez se necesita que recircule los fangos del decantador secundario hacia el reactor biológico. Por lo que será necesario diseñar un bombeo en cabecera y otro bombeo para recirculación

### 1.3 Gestión del Agua



Imagen 3. Esquema sistema recolección del agua.

Fuente: Consorcio de aguas Principado de Asturias; <http://www.consorcioaa.com>

El sistema de recolección del agua residual se resume en este esquema donde se puede apreciar los pasos que recorre el fluido.

- En primer lugar el agua es recolectado (6) desde los núcleos de población hasta los puntos de regulación y transporte que pueden (7) incorporar una serie de bombas que permitan elevar el fluido si fuera necesario
- En segundo lugar se depura dentro de una estación de tratamiento (8)
- En último lugar una vez tratada el agua se devuelve al cauce fluvial más cercano a la estación (9) en las condiciones idóneas

El diseño del alcantarillado y de los colectores de acceso deben proporcionar fluidez para evitar que el agua se estanque y generen gases malolientes producidos por la descomposición de materia orgánica, por lo que es necesario la evacuación rápida y eficaz

de la fuente de generación. Los propios núcleos de población pueden disponer de distintos puntos de bombeo para proporcionar la presión necesaria para que el agua residual pueda llegar a los distintos puntos de tratamiento.

Centrados en la línea de agua dentro de la estación es necesario optimizar los recursos y presupuestos para conseguir un correcto funcionamiento de la planta que nunca debe sufrir un paro general que impida el tratamiento del agua, por lo que debe ser dimensionada para poder seguir trabajando al rendimiento deseado aunque se produzcan paradas por mantenimiento o avería. También se debe tener en cuenta que la experiencia indica que los núcleos de población van creciendo por lo que es necesario estudiar la población que produce vertidos en este momento y en el futuro, por lo que es necesario sobredimensionar los equipos y los cálculos de caudal máximo y mínimo deben tener en cuenta el aumento de la población.

#### 1.4 Bases de Partida

El proyecto se realiza con objeto de dotar de un óptimo sistema de bombeo a una estación depuradora con los siguientes datos de partida previamente suministrados que se resumen en la siguiente tabla:

<b>Ficha inicial (Datos de partida)</b>	
Población	50000 hab. equivalente
Dotación	200 L/he día
Coeficiente Qmax	1,720
Concentración SS entrada	375mg/L
Concentración DBO entrada	300 mg/l
Concentración SS salida	25 mg/l
Concentración DBO salida	25 mg/l

**Tabla 1 Datos de partida**

Se estima un dimensionamiento mínimo a 20 años, sobredimensionando los equipos ante el posible incremento poblacional durante ese tiempo

La ubicación de la planta estará en la Región de Murcia, ya que la base teórica y técnica se basará en el manual de especificaciones técnicas de la empresa municipal de aguas y saneamiento de Murcia. [1]

### 1.5 Necesidad de sistemas de bombeo en una EDARU

El sistema de bombeo es parte fundamental en cualquier instalación hidráulica en la que es necesario salvar un desnivel geográfico y también aportar una presión que permita al fluido circular por la instalación por caída.

En un EDARU es necesario que el bombeo aporte esa cota necesaria, más alta que el final de planta, que permita que el sistema fluya por gravedad a lo largo de la estación depuradora y que además proporcione unos valores de presión y velocidad suficientes para el correcto funcionamiento de los procesos.

## 2. NORMATIVA

En este capítulo se describen los aspectos legales que normalizan los procesos relacionados con el agua

### 2.1 Normativa referente al agua

El Real Decreto legislativo 1/2001, de 20 Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas (en adelante RDL 1/2001), es la base legal a tener en cuenta pero no incluye el real decreto ley 11/1995, de 28 de diciembre ( en adelante RDL 11/1995) por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

#### **Artículos RDL 1/2001:**

**Artículo 100:** A los efectos de la presente Ley, se considerarán vertidos los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales, así como en el resto del dominio público hidráulico, cualquiera que sea el procedimiento o técnica utilizada. Queda prohibido, con carácter general, el vertido directo o indirecto de agua y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, salvo que cuente con la previa autorización administrativa

**Artículo 109:** El gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas

El capítulo II marca los usos admitidos del agua:

- a. usos urbanos: residencial ,(riego de jardines urbanos y descarga de aparatos sanitarios) y Servicios (riego de zonas verdes urbanas, sistema contra incendios, lavado industrial de vehículos)
- b. Uso agrícola: riegos
- c. Usos industriales: limpieza y uso industria alimentaria
- d. Usos recreativos: campos de golf y estanques
- e. usos medioambientales: recarga de acuíferos

Usos prohibidos en la reutilización:

- a. Consumo humano, salvo situaciones de catástrofe en las que las autoridades sanitarias especificara los niveles de calidad
- b. Usos industria alimentaria en los que se vean afectados la calidad de consumo humano
- c. Uso en instalaciones hospitalarias
- d. Uso recreativo para agua de baño

**Artículos RDL 11/1995:**

Este real decreto tiene como objetivo adaptar al ordenamiento interno la Directiva 91/271/CEE, en el cual los países miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que las aguas residuales son tratadas correctamente antes de su vertido

Artículos vinculantes al proceso de una EDARU

**Artículo 2. Definiciones.**

A los efectos de este Real Decreto-Ley se entiende por:

- a. *Aguas residuales urbanas*: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.
- b. *Aguas residuales domésticas*: Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- c. *Aguas residuales industriales*: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.
- d. *Aglomeración urbana*: Zona geográfica formada por uno o varios municipios, o por parte de uno o varios de ellos, que por su población o actividad económica constituya un foco de generación de aguas residuales que justifique su recogida y conducción a una instalación de tratamiento o a un punto de vertido final.
- e. *Sistema colector*: Todo sistema de conductos que recoja y conduzca las aguas residuales urbanas, desde las redes de alcantarillado de titularidad municipal, a las estaciones de tratamiento.
- f. *1 h-e (habitante equivalente)*: La carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5), de 60 gramos de oxígeno por día.
- g. *Tratamiento primario*: El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO 5 de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%.
- h. *Tratamiento secundario*: El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente.
- i. *Tratamiento adecuado*: El tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido, los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable.
- j. *Fangos*: Los lodos residuales, tratados o no, procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

- k. *Zona sensible*: Medio o zona de aguas declaradas expresamente con los criterios que se establecerán reglamentariamente.
- l. *Zona menos sensible*: Medio o zona de aguas marinas declaradas expresamente con los criterios que se establecerán reglamentariamente.
- m. *Estuario*: La zona de transición, en la desembocadura de un río, entre las aguas dulces y las aguas costeras.

#### **Artículo 4.** Sistemas colectores.

1. Las aglomeraciones urbanas que se indican a continuación deberán disponer de sistemas colectores para las aguas residuales urbanas, en los siguientes plazos:

- a. Antes del 1 de enero del año 2001, aquellas que cuenten con más de 15.000 habitantes-equivalentes.
- b. Antes del 1 de enero del año 2006, aquellas que tengan entre 2.000 y 15.000 habitantes-equivalentes.
- c. Antes del 1 de enero del año 1999, aquellas que cuenten con más de 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en una *zona sensible*,

#### **Artículo 5.** Tratamiento secundario de las aguas residuales urbanas.

1. Las aglomeraciones urbanas que se indican a continuación deberán aplicar a las aguas residuales que entren en los sistemas colectores un tratamiento secundario o proceso equivalente, en los siguientes plazos:

- a. Antes del 1 de enero del año 2001, aquellas que cuenten con más de 15.000 habitantes-equivalentes.
- b. Antes del 1 de enero del año 2006, aquellas que cuenten entre 10.000 y 15.000 habitantes-equivalentes.
- c. Antes del 1 de enero del año 2006, aquellas que cuenten entre 2.000 y 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas continentales o estuarios.

#### **Artículo 6.** Tratamiento adecuado de las aguas residuales urbanas.

Las aglomeraciones urbanas que se indican a continuación dispondrán de un tratamiento adecuado para sus aguas residuales, antes del día 1 de enero del año 2006, en las siguientes circunstancias:

- a. Aquellas que cuenten con menos de 2.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas continentales y estuarios.
- b. Aquellas que cuenten con menos de 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas marítimas.



**Artículo 7.** Tratamiento de aguas residuales urbanas en *zonas sensibles y menos sensibles*.

1. Las aglomeraciones urbanas que cuenten con más de 10.000 habitantes-equivalentes y que viertan las aguas residuales urbanas en *zonas sensibles* deberán disponer, antes del 1 de enero de 1999, de instalaciones adecuadas para que dichas aguas sean sometidas, antes de su vertido, a un tratamiento más riguroso que el tratamiento secundario establecido en el artículo 5, cuyos requisitos se establecerán reglamentariamente.

2. Las aglomeraciones urbanas que viertan en *zonas menos sensibles* podrán someter las aguas residuales urbanas a un tratamiento menos riguroso que el secundario, siempre que existan estudios globales que indiquen que dichos vertidos no tendrán efectos negativos sobre el medio ambiente y se les aplique un tratamiento primario, y se encuentren entre las siguientes:

- a. Aquellas que cuenten entre 10.000 y 150.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas marítimas.
- b. Aquellas que cuenten entre 2.000 y 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en estuarios.
- c. En casos excepcionales, aquellas que cuenten con más de 150.000 habitantes-equivalentes, cuando se demuestre que un tratamiento más avanzado no implicaría ventajas para el medio ambiente.

3. La Administración General del Estado, previa audiencia de las Comunidades Autónomas y de las Entidades locales afectadas, declarará las *zonas sensibles* en las cuencas hidrográficas que excedan del ámbito territorial de una Comunidad Autónoma. Las Comunidades Autónomas efectuarán dicha declaración en los restantes casos y determinarán las *zonas menos sensibles* en las aguas marítimas.

Estas declaraciones se efectuarán de acuerdo con lo que se establezca reglamentariamente y serán publicadas en los diarios oficiales correspondientes.

**Artículo 8.** Prohibición de vertidos de fangos.

Queda prohibido el vertido de fangos procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales a las aguas marítimas, a partir del día 1 de enero de 1999. Su evacuación a aguas continentales queda prohibida a partir de la entrada en vigor del presente Real Decreto-Ley.

## 2.2 Normativa eléctrica:

Para el diseño del apartado eléctrico se tendrá en cuenta el reglamento electrotécnico para baja tensión 2002, Real decreto 842/2002, de 2 de agosto. Dentro del reglamento se incluyen las instrucciones técnicas complementarias de las que nos basaremos en las siguientes, ya que el objetivo de este proyecto se basa exclusivamente en el sistema de bombeo y se entiende que el resto de las instalaciones dentro de la EDARU son objeto de estudio y dimensionamiento fuera del objetivo de este proyecto

- ITC-BT-07 REDES SUBTERRÁNEAS PARA DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN
- ITC-BT-19 INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PRESCRIPCIONES GENERALES
- ITC-BT-22 INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PROTECCIÓN CONTRA SOBREINTENSIDADES
- ITC-BT-47 INSTALACIÓN DE RECEPTORES.MOTORES.
- UNE 21 123-4 : Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 4: Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de poliolefina.

Por otra parte se tendrán en cuenta las especificaciones técnicas propias que se recogen del manual de EMUASA [1]. Este manual se basa en las especificaciones del reglamento de baja tensión anteriormente comentado y que se aplican a una estación depuradora de aguas residuales.

## 2.3 Otras normas

- RDL 1/2008 11 de Enero. por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- RDL 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

### 3. Ubicación de la planta

#### 3.1 Localización de la planta

La planta como se comentó anteriormente se ubicará en la comunidad autónoma de la región de Murcia. Dado el crecimiento poblacional, se instalará en el municipio de Alhama de Murcia. La EDARU dará apoyo a las estaciones de Alhama de Murcia y a la de Libradilla que se encuentran ubicadas en el mapa que se muestra.



#### Mapa de EDAR

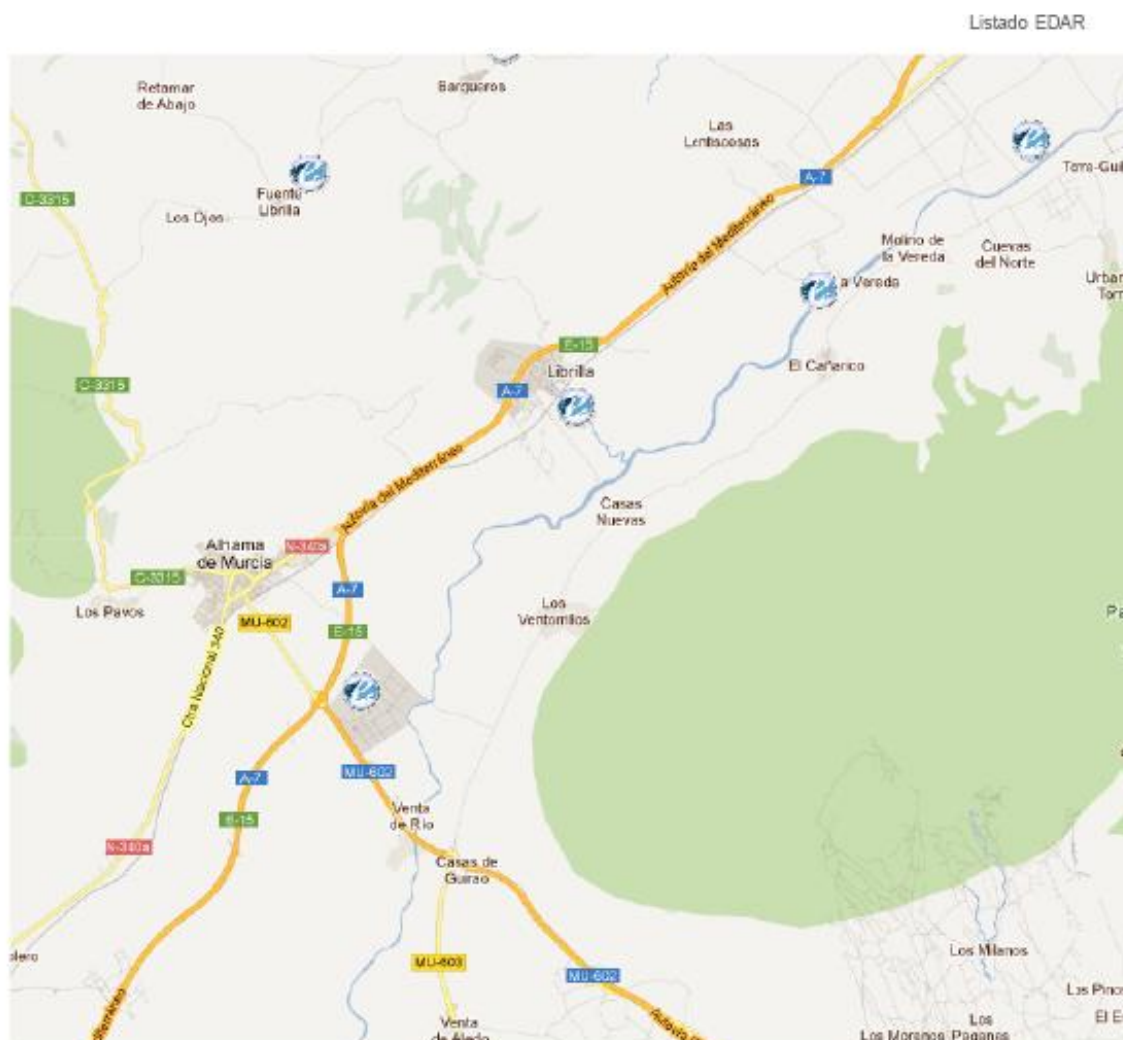


Imagen 4. Plano Mapa EDAR cercanas Alhama de Murcia.

Fuente: Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR); <http://www.esamur.com>

La ubicación de la parcela debe cumplir unos requisitos que se recogen en la legislación española en el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de Enero por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto ambiental de proyectos. En la elección del lugar adecuado cabe destacar principalmente los siguientes puntos:

- Debe estar lo más alejado posible de los núcleos urbanos para evitar olores y ruidos
- Preferencia de terrenos municipales para evitar expropiaciones
- Debe estar lo más alejado posible de zonas de interés turística para evitar la devaluación de la zona

La información de la parcela se obtiene mediante sigpac [2]. Se trata de una parcela de 3,82 Ha. Con una pendiente media del 6,60 %




Imagen 5. Vista aérea parcela EDARU. Fuente: SIGPAC; <http://sigpac.mapa.es/fega/visor>

Su ubicación corresponde a las siguientes coordenadas U.T.M. (en metros)

X: 643466,85  
Y: 4191520,22  
HUSO: 30

La información catastral aporta los datos de uso del terreno, que en nuestro caso es de uso agrario dentro del polígono 12 en la parcela número 2 en la zona de Dos Ríos en Alhama de Murcia



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE HACIENDA Y ADMINISTRACIONES PÚBLICAS

SECRETARÍA DE ESTADO DE HACIENDA  
DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO  
Sede Electrónica del Catastro

**CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA DE DATOS CATASTRALES BIENES INMUEBLES DE NATURALEZA RÚSTICA**  
Municipio de ALHAMA DE MURCIA Provincia de MURCIA

**REFERENCIA CATASTRAL DEL INMUEBLE**  
30008A012000020000LG

**DATOS DEL INMUEBLE**

LOCALIZACIÓN:  
Polígono 12 Parcela 2  
DOS RÍOS. ALHAMA DE MURCIA [MURCIA]

USO LOCAL PRINCIPAL: Agrario [Pastos 00]      AÑO CONSTRUCCIÓN: --

COEFICIENTE DE PARTICIPACIÓN: 100,000000      SUPERFICIE CONSTRUIDA (m²): --

**DATOS DE LA FINCA A LA QUE PERTENECE EL INMUEBLE**

SITUACIÓN:  
Polígono 12 Parcela 2  
DOS RÍOS. ALHAMA DE MURCIA [MURCIA]

SUPERFICIE CONSTRUIDA (m²): --      SUPERFICIE SUELO (m²): 38.259      TIPO DE FINCA: --

**INFORMACIÓN GRÁFICA** E: 1/4000

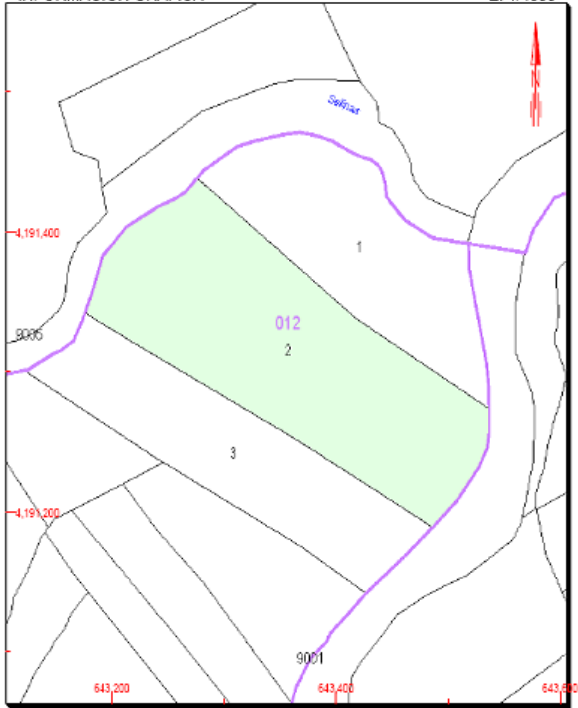


Imagen 6. Referencia catastral parcela EDARU. Fuente: Catastro [13]; [http:// www.catastro.meh.es](http://www.catastro.meh.es)

### 3.2 Obra civil

Como ya se comentó anteriormente la ubicación de la planta se encontrará en la localidad de Alhama de Murcia. Dispone de una población censada según el INE [10] en 2011 el censo corresponde a 20725 habitantes. Se encuentra en el valle de río Guadalentín con una extensión de  $311,55 \text{ Km}^2$ .

La parcela como se ha visto anteriormente, es muy grande de la cual solo se utilizarán unos  $2000 \text{ m}^2$ , con una pendiente media de un 6,6 %.

Se resumen los puntos de la obra civil de manera esquemática ya que no es un punto importante dentro del proyecto.

#### Movimiento de tierras

En primer lugar una vez encontrada la parcela se proceden a los trabajos relacionados con el terreno. En primer lugar se realizará un desbroce general de la parcela. Posteriormente se realizará la excavación necesaria hasta alcanzar la cota necesaria para el desarrollo de la obra.

#### Edificación

Una vez pasado el proceso de movimiento de tierras se ejecutan los trabajos de edificación de los procesos y puntos auxiliares para el funcionamiento de la estación.

#### Tuberías y electrificación

Posteriormente se pasa a la fase de implantación de las tuberías y equipos eléctricos necesarios para el funcionamiento de la planta que cumplirán las normas legales y reglamentos que anteriormente se han mencionado el apartado de referencias legales.

#### Viales y accesos

Una vez completados los elementos internos de toda la planta es necesaria la construcción de los accesos y viales que comuniquen la planta con la carretera más cercana y que permitan el acceso a la planta.



## 4. Materia Prima

### 4.1 Descripción Agua residual

Las aguas residuales se definen como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.

En el caso de la estación que nos concierne tratara principalmente aguas que provienen de uso domestico urbano, sanitario, de instalaciones comerciales y publicas urbanas por eso se trata estación depuradora de aguas residuales urbanas (EDARU)

No son objeto de estudio las aplicadas por las grandes industrias ya que no se encuentran dentro del área de aportación de la EDARU. El agua residual urbana suele estar a una temperatura más elevada que la del suministro ya que en las viviendas y locales se calienta el agua que posteriormente pasa a los colectores hasta la central.

Durante el proceso de llegada hasta la estación adquiere una serie de propiedades que producen que el agua se contamine y necesite tratamiento para paliar estas alteraciones que en un principio no disponía el agua. Estas propiedades que adquiere el agua se denomina contaminación.

Además de las propiedades químicas que adquiere el agua, es muy importante contar con un óptimo sistema de pretratamiento en la planta que elimine los residuos sólidos ya sean de pequeño, o gran tamaño que arrastra el agua residual que pueden producir problemas en posteriores etapas de la estación y que pueden causar obstrucción de tuberías y principalmente en los equipos de bombeo.

## 4.2 Propiedades físicas del agua residual:

### Olores:

El agua residual tiene un olor peculiar que se produce por la liberación de los gases de descomposición de la materia orgánica. Pequeñas cantidades de contaminación pueden producir grandes variaciones del olor original que presenta el agua.

### Colores:

El agua residual es de color grisáceo en un principio, pero por el trayecto que la comunica hasta la central, hace que llegue a tornarse de un color negro muy oscuro y se producen fenómenos indeseados de septificación.

### Sólidos:

Existen diferentes tipos de sólidos que acompañan al agua en el recorrido hacia la estación. Estos sólidos pueden estar disueltos, en suspensión, sedimentables y totales. Estos últimos pueden ser trapos, ramas, latas, etc...Y deben ser correctamente eliminados en el pretatamineto para no producir problemas en los equipos mecánicos de la estación.

## 4.3 Propiedades químicas:

### Materia orgánica:

Los principales grupos de sustancias son los hidratos de carbono, grasas y aceites provenientes de las cocinas y también de los talleres, lavaderos de coches etc. Este tipo de contaminación es de características especiales ya que su presencia en colectores pueden dar lugar a atmosferas explosivas y/o tóxicas. Este tipo de materias se clasifican en sustancias orgánicas biodegradables, que son capaces de ser degradadas por fangos biológicos en un corto periodo de tiempo, y las no biodegradables que son las que requieren de tratamiento especiales, generalmente de oxidación química, para su eliminación

### Materias Inorgánicas:

Este tipo de sustancias están muy presentes en las aguas residuales, y pueden afectar al pH (6-9) y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.



#### 4.4 Propiedades biológicas

##### Microorganismos:

El agua residual contiene gran cantidad de microorganismos, muchos de ellos de procedencia humana, que requieren del tratamiento biológico necesario para su eliminación. Cabe destacar las bacterias, hongos y virus. Una parte de los microorganismos presentes en el agua residual son considerados como Organismos Patógenos, pudiendo afectar a la salud humana, ya que son desechos que están infectados y son portadores de determinadas enfermedades. Destacan estos organismos por la resistencia que presentan para ser eliminados, debido a que este tipo de microorganismos, pueden estar presentes muchos días en el agua residual ya que a diferencia de los contaminantes químicos no se disuelven en el agua, sino que pueden cuagularse o unirse a los sólidos en suspensión que están presentes en el agua.

#### 4.5 Contaminantes en el tratamiento:

Resumen de los principales contaminantes que deben ser tratados dentro de la estación depuradora

##### Sólidos en suspensión:

Dan lugar a fangos si no se tratan antes de verterse al entorno acuático

##### Materia orgánica biodegradable:

Esta materia se mide en DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y en función de DQO (demanda química de oxígeno) y si se descargan en un entrono sin tratar producirán agotamiento de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas.

##### Patógenos:

Transmisión de enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual

### Nutrientes:

Pueden favorecer el crecimiento de vida acuática no deseada ya que el nitrógeno y el fósforo favorecen el crecimiento

### Sólidos inorgánicos disueltos:

Son constituyentes inorgánicos que se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua y es necesario eliminar si se piensa en reutilizar el agua residual

## 5. Procesos de depuración

### 5.1 Resumen de los procesos de depuración

En este apartado se indican los procesos necesarios para un correcto tratamiento del agua dentro de la estación depuradora. No se hará especial hincapié en este apartado ya que el objetivo final del proyecto no es el estudio del funcionamiento de la EDARU, sino del estudio del bombeo.

En el siguiente dibujo se muestran los distintos procesos que se producen en una línea de agua en una EDARU

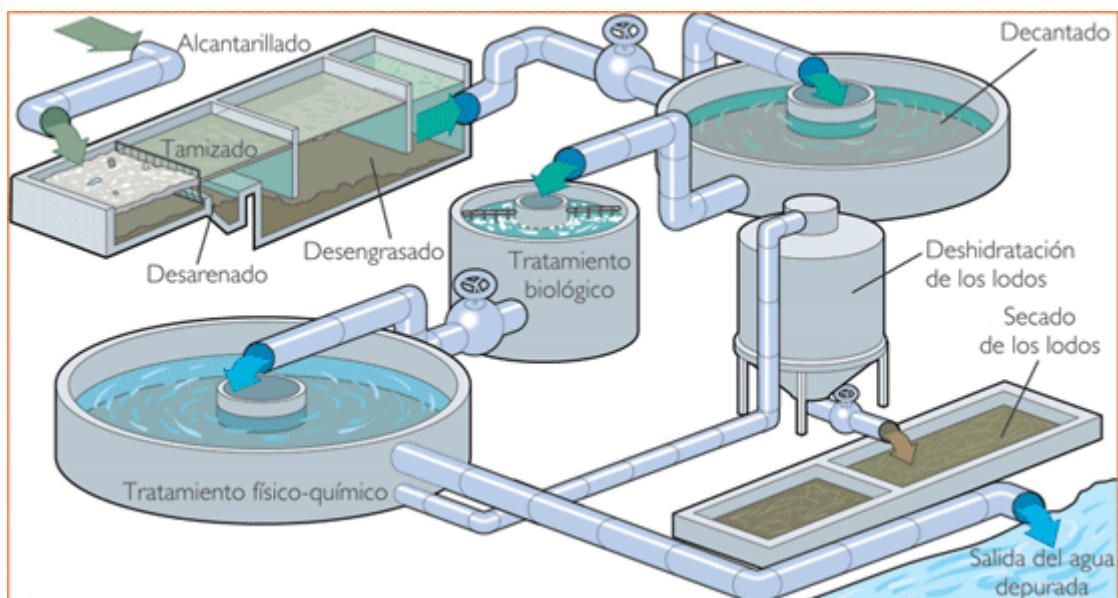


Imagen 7. Procesos efectuados en la línea de agua de la EDARU.

Fuente: portal Quintanar del orden; <http://mlvquintanar.com>

Fases dentro de la EDARU

1. Desbaste y tamizado
2. Desarenado y desengrasado
3. Tratamiento primario (decantación primaria)
4. Tratamiento secundario (biológico)
5. Decantación secundaria
6. Tratamiento terciario (físico-químico)
7. Retirada de fangos (secado de lodos)
8. Salida del agua tratada

La línea de agua es considerada como todo el recorrido que hace el fluido desde que entra a la planta hasta que sale en forma de agua limpia hacia el receptor del vertido.

El agua procedente de los colectores pasa por 6 distintas fases en la estación de depuración. La siguiente descripción de los procesos se basa en los datos aportados en el libro de Isla de Juana “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas” [3], y en la “descripción de la estación depuradora de Aguas residuales de Linares” desarrollado por el profesor Antonio Aznar [4]

1. Obra de llegada

Abarca los puntos anteriores al pretratamiento en la EDARU y el bombeo necesario para la elevación del agua por gravedad

2. Pretratamiento

En esta parte se trata el agua para eliminar sólidos de gran tamaño, material flotante y arenas y gravas y abarca tamizado y desarenador

3. Tratamiento primario

En esta parte se eliminan los sólidos en suspensión

4. Tratamiento secundario

Abarca el tratamiento biológico y la decantación para adaptar los valores de DBO a unos valores óptimos en el efluente

5. Tratamiento terciario

En esta etapa se eliminan los olores producidos en otras etapas y se desinfecta el agua si fuera necesario.

6. Salida del agua tratada

Es la última fase del proceso en el que se envía el agua descontaminada al cauce receptor asociado a la estación

## 5.2 Obra de llegada

Este apartado se encarga principalmente de preparar el agua para evitar averías y problemas en los aparatos debido a sólidos de grandes tamaños que pueden perjudicar su correcto funcionamiento.

### Estanque de tormentas

Es fundamental en una estación depuradora la posibilidad de equipar servicios auxiliares que puedan asumir el aumento de caudal en momentos concretos, como por ejemplo:

- Posible variaciones de caudal derivadas del aumento del consumo debe ser capaz la planta de asumirlas entre el caudal máximo y mínimo de diseño
- Variaciones por aumento de lluvias (aguas blancas)

Para este último caso de aumento, existen los estanques de tormentas que no son otra cosa que depósitos de grandes dimensiones (capaces de almacenar el caudal medio de entre 4 y 24 horas) que almacenan el agua, y que posteriormente pasaran al sistema de alimentación de la estación depuradora.

Otro sistema para tratar el exceso de caudal son los aliviaderos que son canalizaciones abiertas en las que una vez se supera una altura máxima de la lámina de agua, esta rebosa y se vierte a una canalización auxiliar.

### Pozo de Gruesos

El pozo de gruesos es el primer apartado dentro de la estación depuradora. Es una balsa de planta cuadrada o rectangular cuya función es la de separar los sólidos de gran tamaño y eliminar gravas que pueden depositarse en los canales y tuberías y a que a su vez podrían sobrecargar el desarenador. En la salida del pozo se encuentran unas rejillas que impiden el paso de los objetos voluminosos flotantes.

Los residuos son eliminados por medio de cucharas bivalvas que se mueven por encima del pozo de gruesos por medio de un monorraíl cuando el pozo no es muy ancho, o por medio de un puente móvil para pozos más anchos que la cuchara. Suele venir



Imagen 8. Cuchara bivalva. Fuente: Galmen;  
<http://www.galmen.com>

acompañado de un sistema automático de retirada de residuos mediante la programación en el sistema de control de planta. Los inconvenientes de la automatización pasan por:

- La diversidad de tamaños y densidades de objetos que llegan a las depuradoras
- La variación brusca de cantidades de residuos
- El tiempo de permanencia del agua en el agua debe ser pequeño entre 1 y 4 minutos para
- evitar la sedimentación de sólidos pequeños y materia orgánica

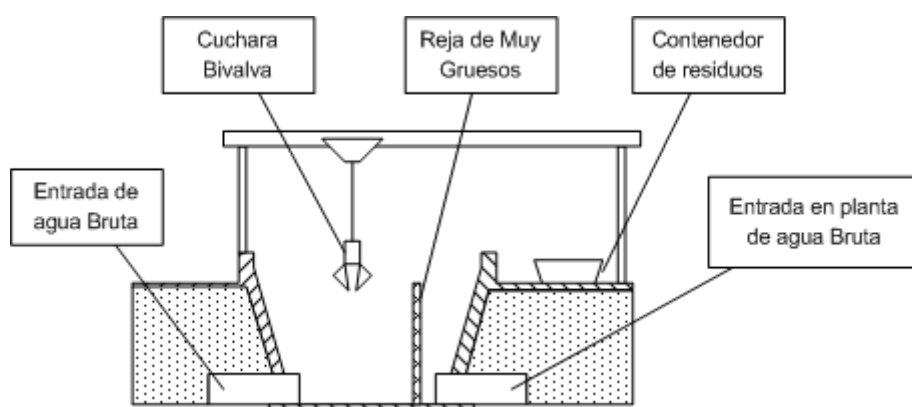


Imagen 9. Pozo de gruesos; Fuente <http://es.wikibooks.7val.com>

### Rejas de desbaste

El desbaste mediante rejas se emplea para separar los sólidos que pueden dañar los equipos aguas abajo. Se diseñan en función del tamaño de las barras, espaciado, inclinación, anchura y velocidad de aproximación y de paso

Existen dos tipos de rejas:

1. Las rejas de gruesos
2. las rejas de finos.



Imagen 10. Rejas desbaste gruesos.  
Fuente: <http://usuarios.arsystel.com>

Las primeras eliminan los sólidos más grandes y las segundas los sólidos de menor tamaño. La velocidad debe ser suficiente para evitar la deposición de residuos y de arenas. Si

se recogen aguas superficiales durante las tormentas puede haber grandes aportaciones de arena por lo que para evitar la deposición de arena en el fondo la velocidad de aproximación debe ser no inferior a 0.9 m/s

Las rejas pueden estar en el pozo de gruesos y utilizan el sistema de limpieza del propio pozo. Por otra parte las rejas de limpieza manual suelen ser de barrotes inclinados para facilitar su limpieza y los residuos son arrastrados por rastrillo por el operador hasta un plato perforado donde escurren antes de su disposición

Las rejas mecanizadas disponen de peine que se mueven de abajo a arriba arrastrando los residuos, el peine a su vez dispone de dientes que entran en los barrotes para evitar el atascamiento de residuos. La acumulación de residuos puede provocar mal funcionamiento con el desplazamiento de los peines por lo que es necesaria la utilización de limitadores de par que protejan los mecanismos.

### Bombeo

Debido a las condiciones topográficas de la estación, después de las rejas se sitúa un pozo de bombeo. Capaz de aportar a la línea de agua desde el punto más alto de la estación un proceso de gravedad. Deben de tenerse en cuenta los caudales medios, punta y máximos horarios ante las distintas situaciones de afluencia de caudal.

Para un correcto dimensionamiento de la estación hay que tener en cuenta las pérdidas de carga de los equipos y accesorios de toda la estación

Este apartado por ser de capital importancia en el proyecto será estudiado en un capítulo aparte.

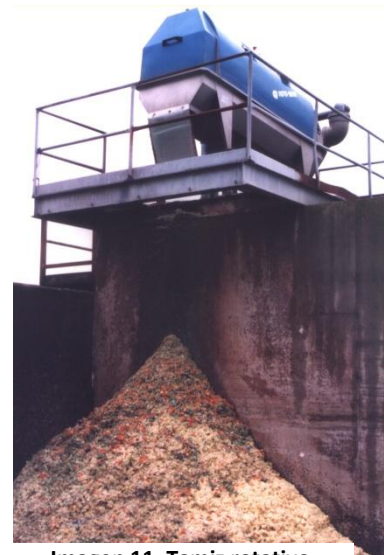
### 5.3 Pretratamiento

#### Tamices

Los tamices son un sistema más para la separación de sólidos en suspensión del agua a tratar. Se sitúa entre rejillas y los decantadores primarios. Pueden actuar como sustitución de los decantadores ya que tienen un coste menor, una gran simplicidad de operación y los residuos sólidos obtenidos pueden tratarse sin necesidad de tratamientos de deshidratación posteriores. Aunque presentan los inconvenientes de una mayor pérdida de carga y una menor eficacia en la separación de sólidos.

Los tamices rotativos y los estáticos son los dos tipos de mayor aplicación:

- El tamiz rotativo: el agua cubre casi exactamente la mitad de un tambor en forma de cilindro que gira de forma continua. El agua sin sólidos pasa al interior del tambor mientras que los sólidos se quedan retenidos en el tamiz que forma el tambor. El agua filtrada sale por un lateral del tambor pasando al siguiente tratamiento. El accionamiento es mecánico y gira a baja velocidad e incorpora un motor reductor de poca potencia. La limpieza del tambor se realiza mediante una rasqueta que descarga los residuos en un contenedor.
- El tamiz estático carece de accionamiento y por tanto no precisa de alimentación eléctrica. Está formada por una superficie filtrante con una inclinación que permiten que los sólidos deslicen por gravedad y se acumulen en la base del tamiz y es necesario la intervención de un operario para su retirada. La pérdida de carga es mayor en los estáticos



**Imagen 11. Tamiz rotativo.**  
Fuente: Tefsa



**Imagen 12. Tamiz estático.**  
Fuente: <http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es>



El problema más frecuente se encuentra en los métodos de limpieza ya que una retirada insuficiente de los residuos produce atascamientos que incapacitan a los tamices para tratar el caudal de diseño.

#### Desarenadores y desengrasado

La misión de los desarenadores es separar las arenas propiamente dichas, la grava, cenizas, cascaras y demás sólidos. Se diseñan para eliminar el 95% de las partículas mayores de 0,2 mm.



Imagen 13. Desarenador EDAR Fuenmayor.  
Fuente: <http://www.larioja.org>

- Desarenadores rectangulares aireados:

Cámara rectangular por la que se hace pasar el agua a tratar permitiendo a la arena depositarse en el fondo, el aire es introducido a lo largo de un lateral cerca del fondo causando un flujo en espiral perpendicular al de la circulación del agua del tanque, las partículas más pesadas con velocidad de sedimentación mayores caen al fondo mientras que el flujo en espiral suspende las partículas orgánicas ligeras que son arrastradas fuera del tanque.

Para retirar los restos se utilizan tres sistemas

a/ tornillo sin fin que conduce longitudinalmente a través del tanque hasta un arqueta situada en el extremo, desde donde una bomba impulsa una suspensión de agua y arena al exterior

b/ puente transversal que arrastra a lo largo del desarenador una bomba vertical que aspira la suspensión del agua y de la arena

c/ bombeo directo desde el fondo del desarenador

- Desarenadores estáticos

Se utilizan para caudales pequeños y consisten en canales en los que se almacena la arena decantada hasta su eliminación. La arena se retira de manera manual y con el desarenador apagado por lo que se necesita otra unidad de reserva en paralelo para poder proceder a su limpieza

### Desengrasadores

Para la eliminación de grasas y aceites del agua se utiliza el proceso de desengrasado. Para la eliminación de grasas y aceites del agua es necesario que no se encuentren solubilizadas

Para el tratamiento se utilizan una serie de formas de tratar el agua:

1. Tanques separadores de grasas:

Deposito en el que las grasas flotan en la parte superior del agua residual que se elimina, mientras que por el fondo sale el agua del tanque de forma continua.

2. Emulsión de las grasas en el desarenador mediante su aireación.

Permitiendo el ascenso a la superficie y poder proceder a su retirada manualmente

3. Separación de grasas por balsas de decantación

Retirando las grasas con arquetas

La posibilidad de utilizar el desarenado y el desengrasado en el mismo proceso consigue reducir costes tanto en la construcción como en el mantenimiento de la planta y a su vez producen mejores rendimientos en los procesos.

-Las velocidades de sedimentación de las arenas y la desemulsión de las grasas casi no varían al realizar el proceso conjunto

-Al incluir aire comprimido para la desemulsión ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango por lo que las arenas son más limpias

## 5.4 Tratamiento primario

El objetivo de la decantación primaria es eliminar los sólidos en suspensión y eliminar la materia orgánica (DBO) contenida en los sólidos por medio de la gravedad, sin embargo tiene escasa efectividad con la DBO disuelta.

El funcionamiento de un decantador consiste en retener el agua en una balsa para que decanten la mayoría de los sólidos decantables y separarlos en forma de fango. Puede eliminarse este proceso en plantas pequeñas, ya que al ser el proceso biológico obligatorio se puede omitir por simplicidad, al eliminarse los sólidos sedimentables simultáneamente al fango biológico.

Los decantadores pueden ser estáticos o mecanizados en su funcionamiento y circulares o rectangulares en cuanto a su forma. Los decantadores circulares y mecanizados suelen ser los más utilizados y aparte de la balsa en la que se recogen los fangos disponen de un mecanismo de barrido de fangos y de arrastre de elementos flotantes para poder eliminar mejor todos los fangos producidos.



Imagen 14. Decantador primario Edar Rejas Madrid. Fuente: <http://www.dam-aguas.es>

## 5.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO

### TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El objetivo principal del tratamiento biológico es convertir la materia orgánica que se encuentra en estado finamente dividido y dispersa, en sólidos sedimentables que puedan separarse en tanques de sedimentación. En el caso de agua residual domestica el objetivo es reducir materia orgánica y la eliminación de nutrientes tipo fosforo y nitrógeno

### DECANTACIÓN SECUNDARIA

Esta parte es fundamental para conseguir los niveles de DBO del efluente. La sedimentación se lleva a cabo normalmente en un depósito circular y el líquido limpio sale por la parte superior donde pasa a la siguiente fase de filtración y desinfección. Los sólidos decantados son eliminados mediante unas rasquetas



Imagen 15. Decantador secundario EDAR Rejas Madrid. Fuente: <http://www.dam-aguas.es>

### 5.6 Tratamiento terciario

En esta parte se trata de eliminar contaminantes específicos. En las estaciones depuradoras de aguas residuales Urbanas, fundamentalmente se procede a la eliminación de nitrógeno y fósforo y desinfectar el agua procedente del tratamiento secundario.

La desinfección consiste en la eliminación y destrucción de los microorganismos que producen las enfermedades.

Se utiliza la cloración para desinfección y malos olores

Ozonización es un oxidante utilizado para la eliminación de olores, sabores y colores

Radiación ultravioleta eficaz contra los virus y bacterias.

### 5.7 Vertido del efluente

Una vez tratada el agua puede ser enviada a través de tubería al un río o a un mar en función de la localización de la planta de tratamiento. Este vertido debe controlar los niveles de contaminación que deben ser controlados para que su incorporación al efluente estén en unos niveles recomendables y aceptables

## 6. Bombeo de agua

### 6.1 Necesidad del bombeo del agua

La línea de agua necesitará la impulsión en cabecera de planta y a su vez otro sistema de impulsión que recircule los fangos en el decantador secundario hacia el tratamiento primario para una correcta eliminación de nitrógeno

El sistema de bombeo de la línea de agua es parte fundamental del proceso de depuración del agua. Forma parte del proceso del pretratamiento, justo antes de tamices. La función del pozo de bombeo es la de otorgar una cota suficiente de altura que permita el desplazamiento del agua a tratar con un funcionamiento por gravedad. Cuando las condiciones geográficas y topográficas no permitan que el desplazamiento se efectúe por gravedad será necesario incorporar el sistema de bombeo.

Un sistema de bombeo necesita además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, algunos elementos que aportan la energía potencial necesaria para el transporte, estas son las bombas y los depósitos pero además son necesarios las válvulas y equipos de medida

Las bombas son los elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga y la diferencia de altura entre dos puntos y fuerzan a que el fluido circule en un determinado sentido

Las bombas deben dimensionarse para evitar la aparición de la cavitación, que es un fenómeno que se produce cuando en algún punto la presión del fluido desciende por debajo de la presión de vapor y se forman burbujas que pueden provocar un mal funcionamiento de los equipos y el deterioro de los elementos mecánicos

### 6.2 Tipos de bombas:

Las bombas se pueden clasificar en bombas de desplazamiento positivo y bombas rotodinámicas. La diferencia radica en el método de funcionamiento

- Las bombas de desplazamiento positivo operan de forma volumétrica, es decir, desplazan un determinado volumen por unidad de tiempo independientemente de la presión

- Las bombas rotodinámicas consiguen incrementar la energía del fluido a base de incrementar la energía cinética recuperando esta energía posteriormente en forma de presión

Las bombas rotodinámicas se clasifican en axiales, mixtas y radiales según la salida del flujo con respecto al eje. Las radiales se las conoce como centrifugas y son las bombas que se recomienda utilizar para la línea de agua de las EDARU. La altura de elevación de una bomba centrífuga depende fundamentalmente del caudal que circula por ella y va a estar definida en función del acoplamiento al sistema de la bomba o bombas que se vayan a utilizar. En la curva característica de una bomba centrífuga se puede apreciar como cuando aumenta el caudal ( $Q$ ), la altura ( $H$ ) que es capaz de elevar la bomba disminuye exponencialmente

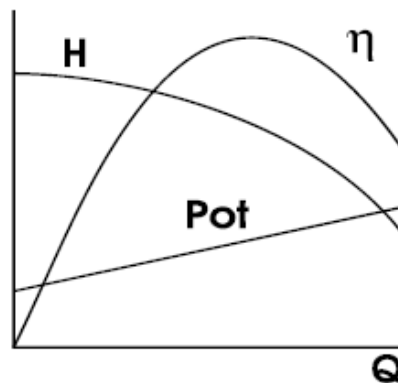


Imagen 16. Curva característica de una bomba centrífuga.

Fuente: Libro sistemas de bombeo ( Universidad de Oviedo)

En el caso de utilizar varias bombas, estas se pueden conectar en paralelo o en serie, proporcionando unas características diferentes en función de dicha conexión.

- Conexión en serie: Con este tipo de conexión se consigue sustituir la curva característica por otra que se obtiene de sumar las alturas de las bombas individuales. Se utiliza este sistema cuando se requiere conseguir una altura que sería imposible alcanzar con una sola bomba



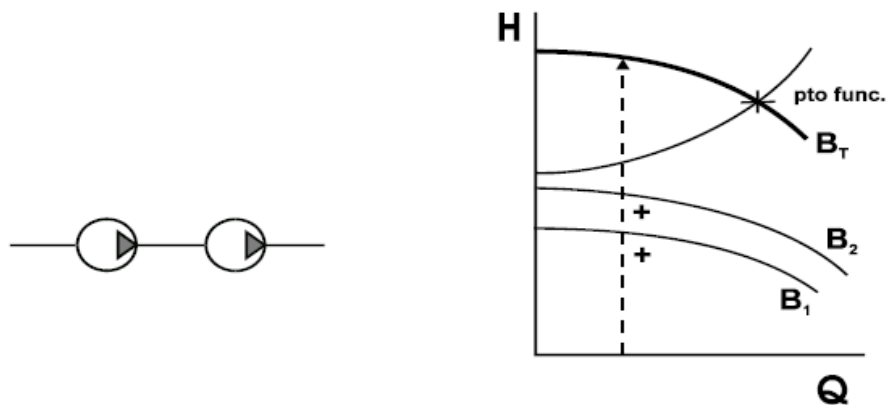


Imagen 17. Curva característica conexión bombas en serie.

Fuente: Libro sistemas de bombeo (Universidad de Oviedo)

- Conexión en paralelo: Con esta conexión se consigue una curva característica conjunta en la que se suman los caudales para cada altura

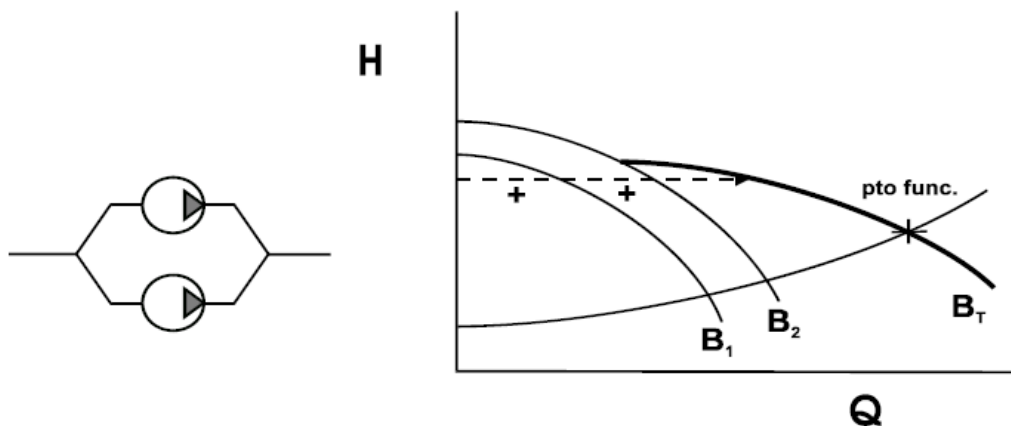


Imagen 18. Curva característica conexión bombas en paralelo.

Fuente: Libro sistemas de bombeo (Universidad de Oviedo)

Utilizar varias bombas en paralelo es útil cuando se exige una gran variación de caudal. Al elegir las bombas se requiere que sean prácticamente idénticas para evitar problemas y que alguna pueda llegar a trabajar sin caudal. Se suelen conectar a un BY-PASS que desvíe parte del caudal para evitar que las bombas funcionen en régimen inestable cuando se conectan en distinto momento

### 6.3 Accesorios

Las válvulas son una parte importante del diseño del sistema de tuberías que forman la línea de agua. Su función principal es la de regular y cerrar el circuito.

- Válvula de compuerta: Normalmente son accionadas por un tornillo. Cuando están abiertas dejan prácticamente el conducto libre, por lo que apenas tiene pérdidas. No



se suelen utilizar para regular, es decir, o siempre están totalmente abiertas o totalmente cerradas. Tienen el inconveniente de que se pueden bloquear si no se utilizan durante cierto tiempo

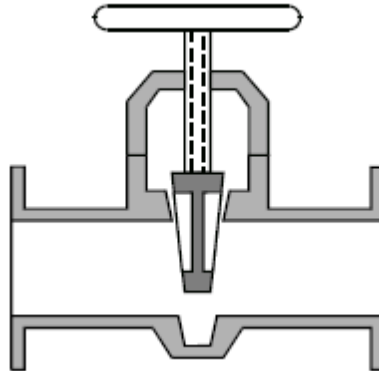


Imagen 19. Válvula de compuerta.

Fuente: Libro sistemas de bombeo (Universidad de Oviedo)

- Válvulas de mariposa: Están formadas por un disco interior que gira 90 grados. Ocupan poco espacio y la facilidad de accionamiento hace que sean muy utilizadas. En cambio hay que tener en cuenta que el disco que se encuentra dentro de la válvula puede causar algunos problemas cuando se transportan fluidos con sólidos. La pérdida de carga cuando están abiertas es muy pequeña, son efectivas como válvula de cierre e incluso como válvula de regulación.



Imagen 20 Válvula de mariposa.

Fuente: Libro sistemas de bombeo (Universidad de Oviedo)

- Válvulas antirretorno: Se utilizan para evitar el flujo inverso por las tuberías o para que no se vacíe la tubería de aspiración de las bombas cuando están paradas

## 6.4 Bombeo cabecera de planta

El pozo de bombeo está situado generalmente antes de tamices. Dentro están las bombas necesarias para la impulsión del agua bruta.

La función del pozo del bombeo es la de otorgar una cota suficiente para que en el resto de la línea discurra el agua a tratar por caída hasta el efluente. El bombeo según los datos de la EDAR de Linares [4] debe garantizar un mínimo de 0,3 m/s de velocidad del fluido para evitar que se depositen sólidos en el fondo de las tuberías y conducciones y se estima que aporten una velocidad de alrededor de 1 m/s

Siguiendo las especificaciones de EMUASA [1] las bombas deben ser en todo caso centrífugas, pudiendo ser sumergibles o no sumergibles.

El pozo de bombeo está formado por:

- Cámara de aspiración: Balsa donde toma agua el pozo de bombeo
- Conductos de aspiración: Tuberías que conectan el pozo con el siguiente proceso
- Bombas: ( en el caso de bombeo de entrada se utilizan las centrifugas sumergidas)

En la siguiente tabla se resumen los caudales de diseño para los que se debe calcular el bombeo de cabecera de planta.

Tabla caudales diseño	
Q med	10000 $m^3/dia$
Q med horario	417 $m^3/hora$
Q minimo	209 $m^3/hora$
Q max	718 $m^3/hora$

**Tabla 2 Caudales diseño iniciales**

En función de las condiciones de diseño de la planta, el caudal a tener en cuenta para el dimensionamiento de las bombas es siempre el caudal máximo.

En el mercado existen varias marcas que fabrican bombas adoptadas para las estaciones de tratamiento de aguas residuales, que en este caso se opta por la marca EBARA. Se ha elegido este fabricante porque dentro de su gama de productos dispone de un catalogo de bombas especificas para impulsión de agua residual. A su vez ha facilitado todas las curvas de funcionamiento de sus bombas, características y precio por lo que ha sido el fabricante que mas información ha facilitado, y por lo tanto los datos y cálculos realizados se ajustan con más precisión a un hipotético caso real. Además, ha proporcionado información acerca de los accesorios necesarios para el montaje, control y mantenimiento de la instalación. A su vez EBARA ha realizado trabajos específicos en grupos de presión en las

EDAR de Aguilar del Campo, Denia, Font de la Pedra, Llagosta, Oropesa y Morata de Tajuña por lo que cuenta con una dilatada experiencia en este campo.

Para la impulsión en cabecera de planta se opta por el modelo DML de la firma EBARA [5] con impulsor monocal específico para el impulso del bombeo de aguas residuales. La elección del modelo se ajusta a la búsqueda de la bomba que a pleno rendimiento, la altura manométrica que es capaz de elevar, se asemeje a la altura calculada en la línea piezométrica. En este caso el modelo el escogido es el modelo 150 DML 511, en un total de 5 unidades conectadas en paralelo (4+1 de reserva). Se trata de una bomba centrífuga sumergible con unos valores nominales de  $270 \text{ m}^3/\text{hora}$  y 5,4 metros de impulsión que son suficientes para impulsar el agua bruta en función de los datos calculados en línea piezométrica, que son de  $718 \text{ m}^3/\text{hora}$  a  $Q_{\text{max}}$  y de 4,758 metros. Se necesitan un mínimo de 3 bombas en funcionamiento en el caso de caudal máximo, pero para favorecer el óptimo funcionamiento de la instalación, se opta por la instalación de 4 bombas para que cada bomba actúe siempre en su régimen de máximo rendimiento.

Según la curva de funcionamiento proporcionada por el fabricante, la bomba trabaja con un rendimiento superior al 65% cuando se encuentra en el margen de impulsión de 1800-3200 l/min que equivalen a un margen en  $\text{m}^3/\text{hora}$  de 108-192. Alcanzándose el rendimiento máximo 68% con 2400 l/min que equivalen a  $144 \text{ m}^3/\text{hora}$ . En la siguiente tabla se resumen las posibles configuraciones de las bombas en función de la curva de rendimiento proporcionada por el fabricante

	$Q_{\text{máx}}(718 \text{ m}^3/\text{hora})$		$Q_{\text{medio}}(417 \text{ m}^3/\text{hora})$		$Q_{\text{mínimo}}(209 \text{ m}^3/\text{hora})$	
<b>Bombas conectadas</b>	<b>Q por bomba (<math>\text{m}^3/\text{hora}</math>)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>	<b>Q por bomba (<math>\text{m}^3/\text{hora}</math>)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>	<b>Q por bomba (<math>\text{m}^3/\text{hora}</math>)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>
2 bombas	359	0	208,5	62	104,5	65
3 bombas	239	62,5	139	67	69,66	55
<b>4 bombas</b>	179,50	67	104,25	64	52,25	0

**Tabla 3 Numero de bombas en cabecera de planta conectadas en función del caudal**



Imagen 21; Bomba EBARA DML monocanal

Se muestra en la tabla de datos que para funcionar a Caudal máximo es preferible la conexión de 4 bombas. Para el caudal medio es preferible el uso de 3 bombas y finalmente en el caso de funcionamiento a caudal mínimo es recomendable es uso de solamente 2 bombas.

Los valores del pozo de bombeo se resumen en los siguientes datos que se han obtenido en los cálculos recogidos en el anexo 2.

- Caudal;  $Q=718 \frac{m^3}{hora} \rightarrow 199,4 \text{ l/s}$
- Volumen pozo de bombeo:  $22,43m^3$
- Sumergencia de aspiración: 0,33m
- Superficie mínima del pozo :  $18,235 \text{ m}^2$
- Por lo que adoptamos el siguiente pozo de bombeo:

Longitud       $L=5m$

Anchura       $A=4m$

Altura       $H=3m$

- Bombas: (4+1 reserva) 150 DML 511

### Instalación eléctrica de las bombas cabecera de planta

La instalación eléctrica de las bombas se basará en el reglamento eléctrico de baja tensión y en las especificaciones técnicas de EMUASA [1]. Será objeto de estudio y de cálculo, únicamente la instalación eléctrica de conexión y control de las bombas, sin hacer mención al resto de las necesidades de la estación.

En el anexo 3 se encuentran las especificaciones y cálculos que se resumen en los siguientes datos:

Las bombas instaladas según indica el fabricante corresponden a 11 KW y 15 Cv cada bomba. La conexión de cada bomba es trifásica 380 V y la intensidad máxima absorbida de cada bomba es de 23,8 A

Para cada bomba se utiliza un magnetotérmico de protección fundamental para proteger las bombas de posibles sobrecorrientes. En este caso se utilizará para cada bomba el magnetotérmico C 20<sup>a</sup>, 4P, 10 kA de la casa EPP

A su vez las bombas se controlan a través de unos cuadros suministrados por el fabricante que incorporan los requisitos y especificaciones mínimas que son necesarias según el manual de especificaciones técnicas EMUASA [1] y en este caso se emplean 2 cuadros que controlan cada uno a 2 bombas de las 4 que se utilizan en condiciones normales. Reservando otro cuadro de control independiente para la bomba de reserva con similares características de los anteriores



**Imagen 22. Cuadros de control bombas EBARA. Fuente EBARA**

Todas las instalaciones y elementos de protección se encontrarán dentro de los cuadros de control de motores (CCM's), que se instalarán en ubicaciones distintas de los edificios de proceso. A su vez el CCM se conectarán al cuadro general de baja tensión que estará en otro edificio distinto y nunca se ubicará en una sala interior de un edificio de proceso.

En la siguiente tabla se muestra el resumen con los cálculos eléctricos efectuados en el anexo 3

<b>Acometida individual, del CCM hasta cada bomba</b>	
Potencia de cada bomba	11 KW
Magnetotérmico protección bomba	C20A,4P,10 KA
Intensidad máxima admisible	18,67 A
Sección de cable mínimo	6mm <sup>2</sup>
Sección de cable neutro	6mm <sup>2</sup>
Tipo de cable	Tetrapolar de cobre sobre pared con recubrimiento de PVC según norma ITC-BT-19
<b>Acometida de llegada mínima al CCM en función del bombeo</b>	
Potencia total instalada	44 KW
Intensidad máxima admisible	104,5 A
Sección de cable mínimo	25mm <sup>2</sup>
Sección de cable mínimo neutro	16mm <sup>2</sup>
Tipo de cable	Tetrapolar de cobre en zanja con recubrimiento de PVC según norma ITC-BT-07

**Tabla 4 resumen dimensionamiento eléctrico bombeo cabecera**

### 6.5 Bombeo recirculación

El pozo de bombeo está situado a la salida del decantador secundario, en la decantación primaria.

El bombeo debe garantizar un mínimo de 0,3 m/s de velocidad del fluido para evitar que se depositen sólidos en el fondo de las tuberías y conducciones y se estima que aporten una velocidad de alrededor de 1 m/s del mismo modo que en el bombeo de cabecera

Seguendo las especificaciones de EMUASA [1] las bombas deben ser en todo caso centrífugas, pudiendo ser sumergibles o no sumergibles. Las especificaciones serán similares a las mostradas en el anterior apartado de bombeo de cabecera

El pozo de bombeo está formado por:

- Cámara de aspiración: Balsa donde toma agua el pozo de bombeo
- Conductos de aspiración: Tuberías que conectan el pozo con el siguiente proceso
- Bombas: ( en el caso de bombeo de entrada se utilizan las centrífugas sumergidas)

$Q$ =Caudal de bombeo =  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  por línea que equivale a  $359 \text{ m}^3/\text{hora}$

$H$ =Altura útil de bombeo (dif. de cotas salida-entrada reactor biológico  $0,268$ )+(perdida de carga tubería recirculación interna  $0,605$ )= $0,873\text{m}$ . Por seguridad empleamos 2 metros

Para la impulsión de recirculación se adopta el mismo criterio que en el bombeo de cabecera. Se ajusta el modelo de la bomba a la altura necesaria calculada en el tramo de recirculación. En este caso a partir de los datos calculados ( **$Q_{\text{máx}} 359 \text{ m}^3/\text{hora}$** ) y una altura de 2 metros, Según el catalogo facilitado por EBARA se podrían escoger 2 modelos de bombas.

El modelo 150 DML 57,5 y el modelo 150 DML 55,5 son los modelos que más se ajustan según el catalogo del fabricante

Modelo	kW	CV	Ø max. paso de sólidos (mm)	l/min m³/h	Q=Caudal										
					0	1000	2000	2500	3000	3400	4000	4500	5000	5500	6000
					0	60	120	150	180	204	240	270	300	330	360
H=Altura manométrica total (m)															
150 DML 55.5	5,5	7,5	76		22	14,9	10,1	8	5,9	3,9	-	-	-	-	-
150 DML 57.5	7,5	10	76		25,3	18	13,7	11,6	9,5	7,5	4	-	-	-	-

Imagen 23. Catalogo bombas DML EBARA. Fuente EBARA

Se elige el modelo 150 DML 57,5 debido a que a caudal medio, es posible en caso excepcional el uso de una sola bomba ya que es capaz de impulsar los  **$209 \text{ m}^3/\text{hora}$**  requeridos. Se adopta para las líneas 3 bombas sumergibles 150 DML 57,5 con una potencia 7,5 KW y 10 CV+ 1 de reserva. Para cada línea conectados al igual que el bombeo de cabecera, en paralelo.

Según la curva de funcionamiento proporcionada por el fabricante, la bomba trabaja con un rendimiento superior al 65% cuando se encuentra en el margen de impulsión de 1100-3000 l/min que equivalen a un margen en  $\text{m}^3/\text{hora}$  de 66-180. Alcanzándose el rendimiento máximo 72% con 2200 l/min que equivalen a  $132 \text{ m}^3/\text{hora}$ . En la siguiente tabla se resumen las posibles configuraciones de las bombas en función de la curva de rendimiento proporcionada por el fabricante

	Qmáx( $359 \text{ m}^3/\text{hora}$ )		Q medio( $209 \text{ m}^3/\text{hora}$ )		Q mínimo ( $105 \text{ m}^3/\text{hora}$ )	
Bombas conectadas	Q por bomba ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )	$\eta$ (%)	Q por bomba ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )	$\eta$ (%)	Q por bomba ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )	$\eta$ (%)
1 bomba	359	0	209	58	105	70
2 bombas	179,5	65	104,5	69	52,5	0
3 bombas	120	71	69,66	67	35	0

Tabla 5 Numero de bombas en recirculación conectadas en función del caudal

Se muestra en la tabla de datos que para funcionar a Caudal máximo es preferible la conexión de 3 bombas. Para el caudal medio es preferible el uso de 2 bombas y finalmente en el caso de funcionamiento a caudal mínimo es recomendable el uso de solamente 1 bomba.

El cálculo del pozo de bombeo se resume en los siguientes datos que se han obtenido en los cálculos recogidos en el anexo 2.

- Caudal por línea;  $Q=359 \frac{m^3}{hora} \rightarrow 99,7 \text{ l/s}$
- Volumen pozo de bombeo:  $11,21 m^3$
- Sumergencia de aspiración: 0,30 m
- Superficie mínima del pozo :  $9,11 m^2$
- Por lo que adoptamos el siguiente pozo de bombeo:

Longitud       $L=3,5m$

Anchura       $A=3m$

Altura       $H=3m$

- Bombas: (3+1 reserva) 150 DML 57,5

### **Instalación eléctrica de las bombas recirculación interna**

Las bombas instaladas según indica el fabricante corresponden a 7,5 KW y 10 Cv cada bomba.

La conexión de cada bomba es trifásica 380 V y la intensidad máxima absorbida de cada bomba es de 12,6 A

Para cada bomba se utiliza el magnetotérmico C 16 A, 4P, 10 kA de la marca EPP

Las bombas se controlan en este caso por 2 cuadros. Uno de ellos controla 2 bombas, y el otro controla la otra bomba. Reservando otro cuadro de control independiente para la bomba de reserva con similares características de los anterior

Los controles eléctricos de funcionamiento de las bombas de recirculación, se encontraran en otra sala de control de motores (CCM) que a su vez estará conectada al cuadro general de baja tensión de la estación

En la siguiente tabla se muestra el resumen con los cálculos eléctricos efectuados en el anexo 3



<b>Acometida individual, del CCM hasta cada bomba</b>	
Potencia de cada bomba	7,5 KW
Magnetotérmico protección bomba	C16A,4P,10 KA
Intensidad máxima admisible	13,40 A
Sección de cable mínimo	6mm <sup>2</sup>
Sección de cable neutro	6mm <sup>2</sup>
Tipo de cable	Tetrapolar de cobre sobre pared con recubrimiento de PVC según norma ITC-BT-19
<b>Acometida de llegada mínima al CCM en función del bombeo</b>	
Potencia total instalada	22,5 KW
Intensidad máxima admisible	40,21 A
Sección de cable mínimo	10mm <sup>2</sup>
Sección de cable mínimo neutro	10mm <sup>2</sup>
Tipo de cable	Tetrapolar de cobre en zanja con recubrimiento de PVC según norma ITC-BT-07

**Tabla 6 resumen dimensionamiento eléctrico bombeo recirculación**

## 7 Estudio hidráulico

### 7.1 Necesidad del estudio hidráulico

El estudio hidráulico la EDARU necesario para el cálculo del sistema de bombeo se basa en el cálculo de la línea piezométrica.

Este cálculo es de obligada imposición para lograr que la línea de agua pueda mantener una presión aconsejable por gravedad. El estudio de la línea piezométrica siempre se realiza en el caso más desfavorable, este caso es el de caudal máximo del futuro.

Los puntos clave para este cálculo se centran principalmente en el estudio de las pérdidas de carga en los distintos equipos de la línea de agua y en los tramos de conexión por medio de tuberías y accesorios.

Para garantizar los tiempos de retención hidráulicos (TRH) en la mayoría de los procesos la salida del mismo se realiza por vertedero y se tiene en cuenta un margen de seguridad de 0,1 m para evitar posibles inundaciones.

La finalidad de este estudio es conseguir el diseño de un sistema de bombeo capaz de aportar a toda la línea de agua la suficiente presión por gravedad para salvar las pérdidas de carga. A su vez es fundamental que las bombas aporten una velocidad en el fluido superior a 0,3 m/s para evitar que la deposición de sólidos en las tuberías y accesorios, por lo que en la medida de lo posible se intentará que la velocidad de paso del fluido por tuberías ronde 1 m/s.

Es de vital importancia proporcionar a las líneas de la estación el mismo reparto de caudal para que los procesos sean homogéneos. Según CEDEX [6] la recomendación para establecer el número de líneas de tratamiento en relación con las líneas de tratamiento se resumen en la siguiente tabla

RECOMENDACIONES DEL CEDEX PARA ESTABLECER EL NÚMERO DE LÍNEAS DE TRATAMIENTO				
Carácter de estacionalidad	Población de diseño en h-e			
	< 10.000	10.000 – 20.000	20.000 – 50.000	> 50.000
Población estable	1 línea	1 línea	2 líneas iguales	> 2 líneas iguales
Población estacional	1 línea	2 líneas iguales	2 líneas iguales	> 3 líneas iguales

Tabla 7 Número de líneas en función de la población

En este caso al ser una EDARU correspondiente a 50000 habitantes equivalente, se escogen 2 líneas iguales.

## 7.2 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga totales en la línea de agua son la suma de las pérdidas de carga por fricción, carga por accesorios y las pérdidas de carga en los equipos.

Se emplea la ecuación de Bernoulli aplicada a dos puntos de una conducción

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_f$$

Donde:

Z: cota del punto

P: presión en el punto

V: velocidad en el punto

H: altura de bombeo

$h_f$ : Pérdida de carga

- **Pérdidas de carga en los equipos**

Dado que no es el objetivo de este proyecto el estudio al detalle de cada unidad del sistema de tratamiento, en la siguiente tabla se muestran las pérdidas medias de cada unidad de tratamiento que se encuentran tabuladas en los apuntes del profesor Antonio Aznar [7]. A estas pérdidas hay que sumar las ocasionadas por el sistema de vertido de aguas en algunos de los equipos

Unidad de tratamiento	Intervalo de pérdida de carga (m)
Tamiz filtrante	0,01-0,04
Desarenador aireado	0,45-1,20
Decantación primaria	0,45-0,90
Decantación secundaria	0,45-0,90
Tanque de cloración	0,20-1,80

**Tabla 8 Pérdidas de carga de las unidades de tratamiento**

- **Pérdidas en la tuberías:**

Una parte importante del cálculo de pérdidas de carga, es considerar las pérdidas en tuberías. Para las pérdidas de las tuberías se utiliza la formula de Colebrook

$$V = -2 \cdot \sqrt{2g \cdot D \cdot h_t} \cdot \log \left( \frac{K}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51 \cdot n}{D \cdot \sqrt{2g \cdot D \cdot h_t}} \right)$$

$h_t$ : pérdida de carga

D: diámetro de la tubería

v: velocidad media del fluido en la tubería

g: gravedad

K: rugosidad absoluta

n: Viscosidad cinemática. Equivale a  $1,31 \cdot 10^{-6} m^2/s$

Los datos necesarios y los valores de rugosidad absoluta han sido obtenidos a través del manual de depuración de Uralita [8], que se recogen en la siguiente tabla:

Material	Rugosidad absoluta $\varepsilon$ (mm)
Acero blindado	0,9-9
Acero comercial	0,45
Acero galvanizado	0,15
Concreto	0,3-3
Concreto bituminoso	0,25
CCP	0,12
Hierro forjado	0,06
Hierro fundido	0,15
Hierro dúctil	0,25
Hierro galvanizado	0,15
Hierro dulce asfaltado	0,12
GRP	0,030
Polietileno	0,007
PVC	0,0015

**Tabla 9 rugosidad absoluta; fuente: Manual depuración Uralita**

- **Perdida de carga en los accesorios**

Otro punto dentro del cálculo de las pérdidas de carga son los valores que se obtienen con las conexiones, válvulas, contracciones y demás accesorios que forman parte de las tuberías que forman la línea de agua.

$$h_a = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

K: coeficiente de resistencia de los accesorios

v: velocidad del fluido

g: gravedad

El valor del coeficiente de resistencia de los accesorios se obtiene del manual de depuración de Uralita [8].

Accidente	K
Contracción brusca	0,5-1,5
Expansión brusca	0,5-1,1
Codos a 45º	0,15-0,19
Codos a 90º	0,26-0,33
Válvula de compuerta	0,15-0,3
Válvula de retención	1,5-2,9
Compuerta canal abierto	0,2-0,3

**Tabla 10 Coeficiente resistencia accesorios**

- **Perdida de carga en los vertederos (aliviaderos)**

El método de salida del fluido de los distintos equipos producen pérdidas de carga, en función del tipo de salida (vertedero) se utiliza las distintas ecuaciones que expresan las pérdidas de carga.

Para los el cálculo de las pérdidas de carga en vertederos se utilizan las formulas que se reflejan en Metcalf- Eddy [9]

**Vertedero frontal  $Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2}$**

Q: Caudal que atraviesa el pozo

L: longitud del vertedero

h: altura de la lámina de agua aguas arriba

**Vertedero triangular Thompson (dientes a 90º):  $Q = 1,84 \cdot L \cdot h^{3/2}$**

Q: caudal unitario de cada diente

L: longitud del vertedero

h: altura de la lamina de agua aguas arriba

### 7.3 Diámetro de las tuberías

Es necesario calcular el diámetro interno de las tuberías. El objetivo es que siempre se mantenga una velocidad superior a los 0,3 m/s para evitar que los sólidos se depositen en el fondo de los mismos. Se estiman unos cálculos para una velocidad de paso de 1m/s a caudal máximo.

$$V = \frac{Q}{S} \rightarrow \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \rightarrow D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

$Q = \text{Caudal máximo}$

$v = \text{velocidad de paso}$

Según las normas recogidas en el manual de EMUASA [1], se escoge para la línea de agua tuberías de PVC, normalizadas en norma UNE en 1452-1:2010

Como se muestran en los cálculos recogidos en el anexo 1, se escoge una tubería de PVC de 350 mm para el agua residual en la línea de agua.

### 7.4 Línea piezométrica

La suma de todas las pérdidas de carga en los distintos apartados anteriormente citados, dan una medida de la altura que debe salvar el sistema de bombeo. Este cálculo es lo que se conoce como la línea piezométrica y que en la siguiente tabla se recoge la suma total de las pérdidas que se han calculado en el anexo 1

Cotas línea piezométrica	
Cotas	m
Cota vertido bombeo	100
Entrada tamices	99,821
Cota salida tamices	99,808
Entrada desarenador	99,72
Salida desarenador	98,982
Salida arqueta de reparto	98,56
Entrada reactor biológico	98,15
Salida reactor biológico	97,457
Entrada decantador secundario	97,222
Salida decantador secundario	96,545
Entrada cloración	96,425
Salida cloración	95,553
salida efluente	95,242
Total	4,758

Tabla 11 Resumen perdida de carga línea piezométrica



## 8. Prevención de riesgos laborales y Mantenimiento

En este apartado se evalúan los requisitos en el campo del mantenimiento, seguridad y prevención de riesgos laborales que son aplicables al sistema de bombeo de una estación depuradora de aguas residuales

Es necesario incluir un estudio de seguridad y salud en proyectos que se realicen trabajos de construcción o ingeniería civil.

### 8.1 Prevención de riesgos laborales

La concepción del diseño de la EDAR debe cumplimentar una serie de requisitos que son aplicables a cualquier proceso dentro de la estación.

- Minimización y/o eliminación de riesgos.
- Cumplimiento de las normas de seguridad y salud
- Asegurar que se cumplen todas las especificaciones en las operaciones funcionales

El artículo 16 de la ley de prevención de riesgos laborales recoge los puntos necesarios para la evaluación de los riesgos laborales que deben contemplarse tanto en la construcción como en el posterior mantenimiento

Centrando el estudio en lo que se refiere al pozo de bombeo, se debe tener en cuenta los riesgos ocasionados por el manejo de equipos y aparatos eléctricos. Otro factor a tener en cuenta es el problema que pudieran ocasionar los incendios que producirían un colapso en la central y obligarían al cese de actividades con las consiguientes riesgos que ocasionaría. Por ese motivo el pozo de bombeo y el centro de control deben disponer como mínimo de los siguientes elementos:

- Detección automática de incendios con alarma in situ y remota.
- Sistemas fijos automáticos de extinción en los centros de control de motores y pozo de bombeos
- Cartelería de seguridad
- Elementos individuales de protección contra incendios como mascarillas y elementos ignífugos

Además de tenerse en cuenta las notas técnicas de prevención referentes a estaciones depuradoras de aguas residuales NTP: 128, 473, 636

Un punto fuerte de control es la referencia a la protección contra el ruido que se deberán cumplir el decreto 286/2006 del 10 de Marzo. Por eso es fundamental diseñar los equipos y puntos de la estación con un máximo de 85 dB.

## 8.2 Instalación y Mantenimiento

Instalación y mantenimiento de las bombas:

Para este paso nos basamos en las especificaciones técnicas que proporciona el fabricante EBARA en la serie D de sus bombas [11]

### Instalación

El fabricante recomienda una serie de puntos a la hora de la instalación en la planta.

En primer lugar se debe comprobar que al recepcionar el producto, este se encuentra en perfectas condiciones y comprobar la placa de características, que es un resumen de los apartados más importantes de las características de la bomba que se recogen en el anexo 4.

Es fundamental comprobar que la altura de impulsión (H) y el caudal (Q) corresponden con el teóricamente calculado anteriormente

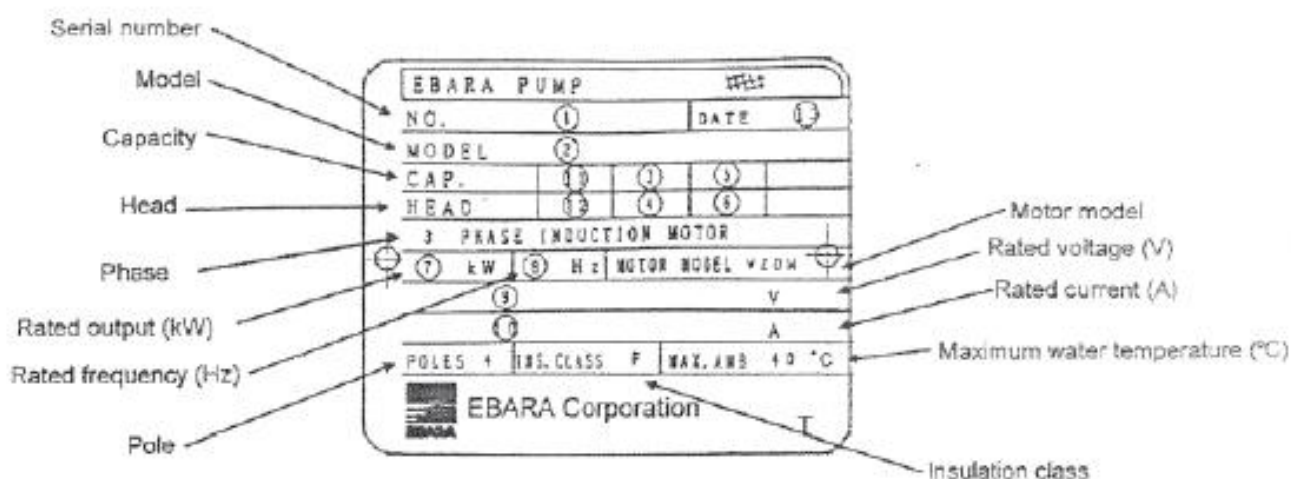


Fig. 1 – Pump Nameplate

Imagen 24. Placa identificación Bombas EBARA. Fuente: EBARA

Por otra parte se recomienda antes de la instalación medir al resistencia entre tierra y cada fase del motor. Este valor debe ser mayor de 20 meg-ohms.

Los pasos de la instalación son los siguientes:

1. Se baja la bomba al pozo de bombeo mediante cadena y polipasto.
2. La bomba no se puede instalar horizontalmente, es fundamental el montaje vertical
3. Se debe instalar la bomba en una superficie que elimine las posibles turbulencias
4. Apoyar correctamente la tubería de descarga para prevenir vibraciones
5. Instalar ventiladores para evitar que el aire se estanque
6. Evitar que la tubería de descarga quede sumergida en su tramo final para evitar los reflujos cuando la bomba se para
7. El control de niveles no trabajara durante más de 10 minutos cuando el nivel de agua sea mínimo. Se recomienda no llegar al nivel mínimo ya que el interruptor de corte del motor actuara y parara la bomba.
8. La instalación eléctrica será ejecutada por un especialista en el campo eléctrico que deberá tener en cuenta entre otros detalles, que el final de los cables de conexión no queden sumergidos y que las tomas de tierra sean correctamente conectadas. A su vez se encargara del conexionado con el cuadro de control propio de la bomba

### **Operaciones de funcionamiento**

1. Comprobar que existe una correcta cantidad de agua en el pozo de bombeo ya que una continua operación de la bomba en condiciones secas puede ocasionar que los dispositivos de protección del motor se activen
2. Comprobar que el sentido de rotación del motor de la bomba es correcto. Sonidos inusuales pueden ser consecuencia de que el sentido no es el correcto y habría que invertir los cables de potencia
3. Una vez comprobado que el sentido es el correcto, gradualmente se abrirá la válvula de descarga y la bomba trabajara de manera continua. Comprobar que el voltaje y la presión de descarga esten dentro de los niveles marcados
4. Se recomienda no arrancar el motor más de 20 veces por hora y realizar los arranques a caudal mínimo

### **Mantenimiento de la instalación**

El mantenimiento son las operaciones que se realizan en los equipos para que se encuentren en todo momento en un correcto estado de funcionamiento y seguridad

Dentro el mantenimiento hay que diferenciar 2 tipos de procedimiento para el desarrollo de las operaciones:

- Mantenimiento preventivo. Son las operaciones que se realizan periódicamente bajo las instrucciones del fabricante para aumentar la vida útil de los equipos
- Mantenimiento correctivo. Son las operaciones que se realizan para reparar las averías y roturas que se producen en los equipos durante el funcionamiento, por lo que este tipo de mantenimiento no puede ser regulado periódicamente sino que se realiza en función de los posibles fallos que se producen

El fabricante recomienda que el desmontaje y reparación de la bomba debe ser realizado en los centros de servicio de atención técnica con personal formado para estas funciones

Las tareas de mantenimiento se realizaran con el switch de la bomba en off para evitar posibles lesiones.

### **Inspecciones recomendadas para el mantenimiento preventivo:**

Diariamente:

1. Revisar la fluctuación de corriente del motor. En el caso de que la fluctuación sea alta puede darse el caso que la bomba esté obstruida.
2. Comprobar que el nivel de carga del agua es el suficiente ya que si desciende rápidamente la bomba podría obstruirse

Mensualmente:

1. Comprobar que la resistencia de aislamiento es superior a 1 meg-ohm. En el caso que la resistencia caiga, se deberá proceder rápidamente a las reparaciones pertinentes por personal especializado en las bombas

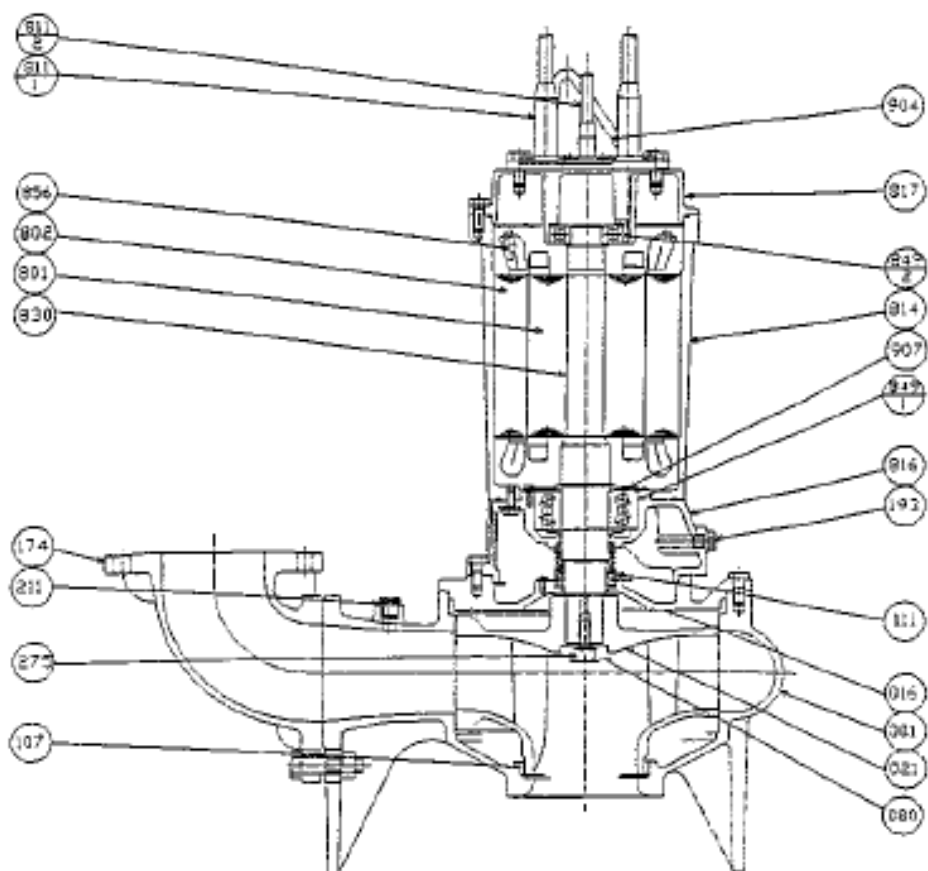
Anualmente:

2. Comprobar el nivel y el estado del aceite en cámara de sellado. Si el color del aceite es de color blanco, es síntoma de que el aceite se está mezclando con el agua. Se deberá proceder a la sustitución del aceite y del sellado mecánico. La vida del sellado mecánico se puede prolongar con un correcto mantenimiento del aceite que debe ser cambiado anualmente

Carcasa exterior:

1. Se debe instalar la bomba en un ambiente húmedo alejado de la radiación de la luz solar
2. Cada 30 días a la vez que se comprueba la resistencia del aislamiento hay que comprobar la rotación del impulsor para verificar que no existen piezas que impidan realizar el giro del motor correctamente

5 to 10 HP  
80DML  
100DML  
150DML



PART NO.	PART NAME	MATERIAL	NO. FOR 1 UNIT
001	CASING	CAST IRON	1
016	MECHANICAL SEAL COVER	CAST IRON	1
021	IMPELLER	CAST IRON	1
080	BUSHING	STEEL	1
107	WEARING RING	BRONZE	1
111	MECHANICAL SEAL	—	1
174	DISCHARGE PIPE	CAST IRON	1
193	OIL PLUG	RUBBER (NBR)	1 SET
211	AIRVENT VALVE	BRASS	1
275	IMPELLER BOLT	STAINLESS STEEL	1
801	ROTOR	—	1
802	STATOR	—	1

PART NO.	PART NAME	MATERIAL	NO. FOR 1 UNIT
811-1	SUBMERSIBLE CABLE (POWER)	—	2
811-2	SUBMERSIBLE CABLE (SIGNAL)	—	1
814	MOTOR FRAME	CAST IRON	1
816	POWER SIDE BRACKET	CAST IRON	1
817	OPPOSITE SIDE BRACKET	CAST IRON	1
830	SHAFT	STAINLESS STEEL	1
840-1	BALL BEARING	—	1
840-2	BALL BEARING	—	1
856	THERMAL PROTECTOR	—	3
904	LIFTING HANGER	STEEL	1
907	BEARING COVER	STEEL	1

Imagen 25. Despiece bomba EBARA Modelo 150 DML. Fuente: EBARA

## ***Glosario de términos***

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aguas Blancas: Aguas provenientes de la lluvia y generalmente con bajos niveles de contaminación, sobre todo pasados los primeros 20-30 minutos.

Aguas Residuales: Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias y que adquieren unos componentes que la convierten en agua contaminada.

Bombas: Las bombas son los elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga y la diferencia de alturas entre dos puntos.

Cavitación: Fenómeno que aparece en las bombas que se produce al entrar el fluido en el rodete de la bomba que al acelerarse genera unas burbujas de vapor por depresión local.

Decantación: Proceso de separación de sólidos sedimentables por la acción de la gravedad.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) : La concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, presentes en el agua o añadidos a ella.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas en suspensión o en una muestra líquida.

Dotación: cantidad de agua vertida al sistema de alcantarillado prevista por habitante equivalente.

EDARU: Estación de depuración de aguas residuales urbanas.

Fangos: Los lodos residuales, tratados o no, procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Habitante equivalente: La carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5), de 60 gramos de oxígeno por día.

Línea de Agua: La línea de agua es considerada como todo el recorrido que hace el fluido desde que entra a la planta hasta que sale en forma de agua limpia hacia el cauce receptor.



Línea Piezométrica: Es la suma de las alturas de presión y de posición. Para el estudio de una línea piezométrica se llevan a cabo los cálculos hidráulicos que determinan la disposición y el dimensionamiento interno de los diferentes elementos y obras que componen una E.D.A.R. que se obtiene como la suma de las pérdidas de carga de los distintos procesos de la estación depuradora.

Magnetotérmico. Dispositivo de control que corta un circuito eléctrico cuando sobrepasa un cierto nivel de corriente eléctrica (sobrecarga) y también protege ante cortocircuitos.

Relé Térmico: Dispositivo que protege los motores contra sobrecargas débiles y prolongadas.

Sedimentación: Proceso por el cual la materia sólida que transporta el líquido se deposita en el fondo del sistema que lo transporta.

Sobrecarga: Nivel de corriente eléctrica superior al calculado en una instalación.

Sólidos en suspensión: son todas aquellas sustancias que no están en disolución en el agua residual y son separadas de la misma por procesos normalizados de filtración, centrifugación o decantación.

Sumergencia de aspiración: Altura mínima del líquido para evitar que entre aire en las tuberías de aspiración.

Tiempos de retención hidráulicos (TRH): Tiempo que permanece el agua residual en un proceso o depósito.

Tratamiento primario: El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO 5 de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20 por 100 antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50 por 100.

Tratamiento secundario: El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso de separación de sólidos, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente.

***Referencia  
de  
imágenes***

## Referencia de imágenes

Numero de imagen	Descripción	Pagina
1	Vertido incontrolado aguas residuales	10
2	Vertido EDAR Murcia-Este al Rio Segura	10
3	Esquema sistema recolección del agua	11
4	Plano Mapa EDAR cercanas Alhama de Murcia	19
5	vista aérea parcela EDARU	20
6	Referencia catastral parcela EDARU	21
7	Procesos efectuados en la línea de agua de la EDARU	27
8	Cuchara bivalva Galmen	29
9	Pozo de gruesos	30
10	Rejas de desbaste gruesos	30
11	Tamiz Rotativo	32
12	Tamiz Estático	32
13	Desarenador	33
14	Decantador primario	35
15	Decantador secundario	36
16	Curva característica de una bomba centrífuga	39
17	Curva característica conexión bombas en serie	40
18	Curva característica conexión bombas en paralelo	40
19	Válvula de compuerta	41
20	Válvula de mariposa	41
21	Bomba EBARA DML monocal	43
22	Cuadros de control bombas EBARA	45
23	Catalogo bombas DML EBARA	47
24	Placa identificación Bombas EBARA	58
25	Despiece bomba EBARA Modelo 150 DML	62
26	Características bombas EBARA	86
27	Curva de funcionamiento de la bomba 150 DML 511	88
28	Curva de funcionamiento de la bomba 150 DML 57,5	92
29	Curva tipo C disparo magnetotérmico	97
30	Interruptor magnetotérmico	98
31	Cuadro control de bombas	101

**Tabla 12 referencia de imágenes**

## ***Referencia de tablas***

## Referencia de tablas

Numero de tabla	Descripción	Página
1	Datos de partida	12
2	Caudales diseño	42
3	Numero de bombas conectadas en función del caudal	43
4	resumen dimensionamiento eléctrico bombeo cabecera	46
5	Numero de bombas conectadas en función del caudal	47
6	resumen dimensionamiento eléctrico bombeo cabecera	49
7	Número de líneas en función de la población	50
8	Perdidas de carga de las unidades de tratamiento	52
9	Rugosidad materiales	53
10	Coeficiente resistencia accesorios	54
11	Resumen perdida de carga línea piezométrica	56
12	Referencia de imágenes	67
13	Referencia de tablas	69
14	Caudales de diseño	71
15	Especificaciones diseño de tamices	71
16	Especificaciones diseño del desarenador	72
17	Especificaciones del reactor biológico	73
18	Especificaciones decantador secundario	74
19	Especificaciones Arqueta de salida	74
20	Coeficiente resistencia accesorios	75
21	Resumen perdidas equipos	79
22	Resumen perdidas de carga en accesorios, tuberías y accidentes	79
23	Resumen cotas línea piezométrica	79
24	Caudales diseño sistema de bombeo	85
25	Numero de bombas en cabecera de planta conectadas en función del caudal	87
26	Caudales diseño sistema de bombeo recirculación	90
27	Numero de bombas en recirculación conectadas en función del caudal	91
28	Enumeración cantidades bombeo cabecera	107
29	Enumeración cantidades bombeo recirculación	108
30	Presupuesto bombeo de cabecera	109
31	Presupuesto bombeo recirculación	110
32	Presupuesto bombeo EDARU	111

**Tabla 13 referencia de tablas**

***Anexo 1***  
***Cálculos***  
***hidráulicos***

## Anexo 1 cálculos hidráulicos

Tabla caudales diseño	
Q med	10000 $m^3/dia$
Q med horario	417 $m^3/hora$
Q mínimo	209 $m^3/hora$
Q max	718 $m^3/hora$

Tabla 14 caudales de diseño

Número de líneas: 2

La velocidad de diseño del fluido será alrededor de 1 m/s que es superior a los 0,3 m/s mínimos recomendados para evitar la deposición de sólidos en el fondo de las tuberías y conducciones

### 1. Perdida carga en equipos

#### Tamiz

Caudal de diseño	417 $m^3/hora$
Q max	718 $m^3/hora$
Número de líneas	2
Caudal max por línea	359 $m^3/hora$

Tabla 15 especificaciones diseño de tamices

$$h_i = \frac{1}{C \cdot 2g} \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2$$

Hi: Perdida de carga en m

g= Aceleración de la gravedad  $m^2/s$

Q= Caudal de punta  $\frac{m^3}{s} \rightarrow 359 \frac{m^3}{hora} \rightarrow 0,1 m^3/s$

A= Área sumergida del tamiz  $A \rightarrow 0,25m^2$  (área sumergida estimada)

Teniendo en cuenta que la longitud es 900 mm y alto es de 600 mm

C= Coeficiente adimensional del tamiz 0,6

$$h_i = \frac{1}{C \cdot 2g} \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \rightarrow h_i = \frac{1}{0,6 \cdot 2 \cdot 9,8} \cdot \left(\frac{0,10}{0,25}\right)^2 \rightarrow 0,013m$$

### Desarenador

Salida por Vertedero frontal  $Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2}$

Caudal de diseño	417 $m^3/hora$
Q max	718 $m^3/hora$
Número de líneas	2
Caudal max por línea	359 $m^3/hora$

**Tabla 16 especificaciones diseño del desarenador**

Q: caudal unitario de cada diente (Q max)

h: altura de la lamina de agua aguas arriba

L: longitud vertedero (2m)

$$Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2} \rightarrow h = \left(\frac{Q}{1,9 \cdot L}\right)^{2/3} \rightarrow h = \left(\frac{0,1}{1,9 \cdot 2}\right)^{2/3} \rightarrow 0,088m$$

Se tiene en cuenta un resguardo de 0,2 m en el vertedero total: 0,088+0,2=0,288m

Perdidas internas tabuladas desarenador 0,45m

Total perdidas desarenador: 0,738m

### Arqueta de reparto

Vertedero frontal  $Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2}$

Q: caudal unitario de cada diente (Q máx.)

h: altura de la lamina de agua aguas arriba

L: longitud vertedero (0,5m)

$$Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2} \rightarrow h = \left(\frac{Q}{1,9 \cdot L}\right)^{2/3} \rightarrow h = \left(\frac{0,1}{1,9 \cdot 0,5}\right)^{2/3} \rightarrow 0,222m$$

Resguardo de 0,2m total 0,422m



### Reactor biológico

El tratamiento biológico de la planta referido a caudal instantáneo horario debe ser al menos superior en 2 veces al caudal medio horario de diseño de tratamiento del resto de la planta (EMUASA) [1]

Vertedero triangular Thompson (dientes a 90°):  $Q = 1,84 \cdot L \cdot h^{3/2}$

Q: caudal unitario de cada diente (Q max)

h: altura de la lamina de agua aguas arriba

L: longitud vertedero (6 m)

Caudal de diseño	417 $m^3/hora$
Q max	718 $m^3/hora$
Número de líneas	2
Caudal max por línea	359 $m^3/hora$

**Tabla 17 especificaciones diseño del reactor biológico**

$$Q = 1,84 \cdot L \cdot h^{3/2} \rightarrow h = \left( \frac{Q}{1,84 \cdot L} \right)^{2/3} \rightarrow h = \left( \frac{0,1}{1,84 \cdot 6} \right)^{2/3} \rightarrow 0,043m$$

Resguardo de 0,2m total 0,243m

Perdida interna decantador primario: 0,45m

Total perdidas decantación primaria: 0,693

### Decantador secundario:

Vertedero triangular Thompson (dientes a 90°):  $Q = 1,84 \cdot L \cdot h^{3/2}$

Q: caudal unitario de cada diente (Q max)

h: altura de la lamina de agua aguas arriba

L: longitud vertedero (12 m)

Caudal de diseño	<b>417 m<sup>3</sup>/hora</b>
Q max	<b>718 m<sup>3</sup>/hora</b>
Número de líneas	2
Caudal max por línea	<b>359 m<sup>3</sup>/hora</b>

**Tabla 18 especificaciones decantador secundario**

$$Q = 1,84 \cdot L \cdot h^{3/2} \rightarrow h = \left( \frac{Q}{1,84 \cdot L} \right)^{2/3} \rightarrow h = \left( \frac{0,1}{1,84 \cdot 12} \right)^{2/3} \rightarrow 0,027\text{m}$$

Resguardo de 0,2m total 0,227m

Perdidas internas decantación secundaria: 0,45m

Total perdidas decantación secundaria: 0,677

#### Cloración:

$$\text{Vertedero frontal } Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2}$$

Q: caudal unitario de cada diente (Q max)

h: altura de la lamina de agua aguas arriba

L: longitud vertedero (0,5m)

$$Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2} \rightarrow h = \left( \frac{Q}{1,9 \cdot L} \right)^{2/3} \rightarrow h = \left( \frac{0,1}{1,9 \cdot 0,5} \right)^{2/3} \rightarrow 0,222\text{m}$$

Resguardo de 0,2m total 0,422m

Perdida interna de ciclo de cloración: 0,45m

Total perdidas cloración: 0,872m

#### Arqueta de salida

$$\text{Vertedero frontal } Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2}$$

Caudal de diseño	<b>417 m<sup>3</sup>/hora</b>
Q max	<b>718 m<sup>3</sup>/hora</b>

**Tabla 19 especificaciones arqueta de salida**

Q: caudal unitario de cada diente (Q max)

h: altura de la lamina de agua aguas arriba

L: longitud vertedero (1,6 m)

$$Q = 1,9 \cdot L \cdot h^{3/2} \rightarrow h = \left( \frac{Q}{1,9 \cdot L} \right)^{2/3} \rightarrow h = \left( \frac{0,2}{1,9 \cdot 1,6} \right)^{2/3} \rightarrow 0,163\text{m}$$

## 2. Perdidas en tramos y conexiones:

Se recogen las pérdidas de carga en los accesorios con su coeficiente K propio y las tuberías a través de de las formulas recogidas en el Metalf-Eddy

Perdida de carga en los accesorios:

$$h_a = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Accidente	K
Contracción brusca	0,5-1,5
Expansión brusca	0,5-1,1
Codos a 45º	0,15-0,19
Codos a 90º	0,26-0,33
Válvula de compuerta	0,15-0,3
Válvula de retención	1,5-2,9
Compuerta canal abierto	0,2-0,3

**Tabla 20 coeficiente resistencia accesorios**

Perdida de carga en tuberías a través de la formula de colebook:

$$V = -2 \cdot \sqrt{2g \cdot D \cdot h_t} \cdot \log \left( \frac{K}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51 \cdot n}{D \cdot \sqrt{2g \cdot D \cdot h_t}} \right)$$

$h_t$ =perdida de carga

D: diámetro de la tubería

v: velocidad media del fluido en la tubería

g: gravedad

K: rugosidad absoluta

n: Viscosidad cinemática. Según varias fuentes (Manual Uralita [8]) equivale a  $1,31 \cdot 10^{-6} m^2/s$

$\lambda$ =coeficiente que se obtiene a través del diagrama de moddy

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{K}{3.71 \cdot D} + \frac{2.51 \cdot v}{V \cdot D \cdot \sqrt{\lambda}} \right)$$

En el diagrama de moddy es necesario conocer el numero Reynolds y la rugosidad relativa

$$Re = \frac{V \cdot \phi}{v}$$

$$\text{Rugosidad relativa } \frac{k}{d} = \frac{0,015}{0,56} = 0,026$$

Una vez obtenido el valor  $\lambda$  se obtiene las perdidas por metro de cada tubería

$$j = \frac{\lambda}{\phi} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

### Pozo de bombeo-tamiz

Velocidad de paso de agua residual:

$$V = \frac{4 \cdot Q_{\text{linea}}}{\pi \cdot D^2} \rightarrow \frac{4 \cdot 359 \cdot \frac{1}{3600}}{\pi \cdot 0,35^2} = 1,036 \frac{m}{s}$$

Calculamos Reynolds y rugosidad relativa para el diagrama de moddy

$$Re = \frac{V \cdot \phi}{v} = \frac{1,036 \cdot 0,35}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 2,66 \cdot 10^5$$

$$\text{Rugosidad relativa } \frac{k}{d} = \frac{0,015}{0,35} = 0,043$$

Según el diagrama de moody  $\lambda = 0,07$

La pérdida por metro de tubería:

$$j = \frac{\lambda}{\phi} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{0,07}{0,35} \cdot \frac{1,036^2}{2 \cdot 9,81} = 0,011 \text{ m/m}$$

$$\text{Válvula de retorno (K=2) (1 unidad): } h_a = 2 \cdot \frac{1,026^2}{2 \cdot 9,81} = 0,11 \text{ m}$$

$$\text{Válvula de mariposa (K=0,3) (1 unidad) } h_a = 0,016 \text{ m}$$

$$\text{Codo } 45^\circ \text{ (K=0,19) (2 unidades). } h_a = 0,020 \text{ m}$$

$$\text{Longitud tramo recto 3m (0,011m/m) = 0,033 m}$$

$$H_{\text{total}} = 0,179 \text{ m}$$

#### Tamiz-desarenador-arqueta reparto

$$\text{Codo } 45^\circ \text{ (K=0,19) 3 und. } h_a = 0,030 \text{ m}$$

$$\text{Contracción brusca (K=0,5) 1 und. } h_a = 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Longitud tramo recto 3m (0,011m/m) = 0,033 m}$$

$$\mathbf{h_{total} = 0,088 \text{ m}}$$

#### Conexión arqueta de reparto-reactor biológico.

$$\text{Válvula de compuerta abierta (K=0,2) 1 unidad } h_a = 0,010 \text{ m}$$

$$\text{Válvula de retorno (K=0,3) 1 unidad } h_a = 0,015 \text{ m}$$

$$\text{Longitud tramo recto 25m (0,011m/m) = 0,275 m}$$

$$\text{Contracción brusca (K=0,5) 1 und. } h_a = 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Codo } 45^\circ \text{ (K=0,19) 6 und. } h_a = 0,060 \text{ m}$$

$$\text{Expansión brusca (K=0,5) 1 und. } h_a = 0,025 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_{total} = 0,41 \text{ m}}$$

Recirculación reactor biológico

Válvula de retorno ( $K=0,3$ ) 1 unidad  $h_a = 0,015m$

Codo  $45^\circ$  ( $K=0,19$ ) 4 und.  $h_a = 0,04 m$

Longitud tramo recto 50m ( $0,027m/m$ ) = 1,35 m

$$h_{total} = 1,405$$

Conexión reactor biológico-decantador secundario

Válvula de retorno ( $k=0,3$ ) 1 unidad  $h_a = 0,015m$

Longitud tramo recto 10m ( $0,011m/m$ )  $h_a = 0,110m$

Contracción brusca ( $K=0,5$ ) 1 und.  $h_a = 0,025 m$

Codo  $45^\circ$  ( $K=0,19$ ) 6 und.  $h_a = 0,060 m$

Expansión brusca ( $K=0,5$ ) 1 und.  $h_a = 0,025 m$

$$h_{total} = 0,235m$$

Conexión decantador secundario-cloración

Válvula de retorno ( $k=0,3$ ) 1 unidad  $h_a = 0,015m$

Longitud tramo recto 5m ( $0,011m/m$ )  $h_a = 0,055m$

Contracción brusca ( $K=0,5$ ) 1 und.  $h_a = 0,025 m$

Expansión brusca ( $K=0,5$ ) 1 und.  $h_a = 0,025 m$

$$h_{total} = 0,12m$$

Cloración-vertido de salida

Longitud tramo recto 10m ( $0,011m/m$ )  $h_a = 0,11m$

Expansión brusca ( $K=0,5$ ) 1 und.  $h_a = 0,025 m$

Salida abierta ( $K=0,25$ ) 1 unidad  $h_a = 0,013m$

$$h_{total} = 0,148m$$

Resumen perdidas equipos	
equipos	Perdida de carga (m)
Tamices	0,013
Desarenador	0,738
Arqueta de reparto	0,422
Reactor biológico	0,693
Decantador secundario	0,677
Cloración	0,872
Arqueta de salida	0,163
Total perdidas	3,578

**Tabla 21 resumen perdidas equipos**

Resumen perdidas de carga en accesorios, tuberías y accidentes	
Tramo	Perdida de carga (m)
Pozo de bombeo-tamiz	0,179
Tamiz-desarenador	0,088
Conexión arqueta reparto-reactor biológico	0,41
Reactor biológico-decantador secundario	0,235
Decantador secundario-cloración	0,12
Cloración-arqueta de salida	0,148
Total perdidas	1,18

**Tabla 22 Resumen perdidas de carga en accesorios, tuberías y accidentes**

**TOTAL DE PERDIDAS= 4,758 m.**

Cotas línea piezométrica	
Cotas	m
Cota vertido bombeo	100
Entrada tamices	99,821
Cota salida tamices	99,808
Entrada desarenador	99,72
Salida desarenador	98,982
Salida arqueta de reparto	98,56
Entrada reactor biológico	98,15
Salida reactor biológico	97,457
Entrada decantador secundario	97,222
Salida decantador secundario	96,545
Entrada cloración	96,425
Salida cloración	95,553
salida efluente	95,242
Total	4,758

**Tabla 23 resumen cotas línea piezométrica**

### 3. Comprobación de las tuberías

Para comprobar si el espesor de tubería elegido es suficiente se calcula un tramo de la línea piezométrica, en este caso salida arqueta-entrada reactor

$$P_2 = \left( Z_1 - Z_2 - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right) \rho \cdot g + P_1$$

Donde:

$$h_f = 0$$

$$P_1 = P_{atm} \rightarrow 101325 \text{ Pa}$$

$$Z_1 - Z_2 \text{ (Diferencia de cotas) ej: salida arqueta-entrada reactor (0,41m)}$$

$$V_2 \approx 1,036 \text{ m/s}$$

$$\rho = 993 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \left( Z_1 - Z_2 - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right) \rho \cdot g + P_1 \rightarrow \left( 0,41 - \frac{1,036^2}{2 \cdot 9,81} \right) 993 \cdot 9,81 + 101325 \\ &= 104786 \text{ Pa} = 1,047 \text{ atm} \end{aligned}$$

$$P_2 = 15,3909 \text{ psi}$$

Espesor:

En PVC se tiene en cuenta una tolerancia aproximada de 12%

$$1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi}$$

Tensión de trabajo es de 6000 psi



Espesor de 13,7mm equivale a 0,53 in

1 pulgada = 0,0254 metros

$$e = M \cdot \frac{P \cdot D_{ext}}{2 \cdot \sigma} \rightarrow 1,12 \cdot \frac{15,3909 \cdot 0,560}{2 \cdot 6000} = 0,000804 \text{ in} < 0,53$$

Es inferior al comercial por lo que el cálculo es correcto.

***Anexo 2***  
***Cálculo***  
***Bombas***

## Anexo 2 Cálculo bombeo

Cálculos necesarios para el dimensionamiento del sistema de bombeo en cabecera de planta y en recirculación

### 1. Cálculo del pozo de bombeo

Se calcula el pozo de bombeo que es el lugar en el que se recogen las aguas residuales que posteriormente se envían a través de las bombas tanto de cabecera como de recirculación.

#### Volumen mínimo del pozo

$$V = \frac{0,9 \cdot Q}{Z}$$

V = Volumen del pozo ( $m^3$ )

Q=Caudal de bombeo máximo en (l/s)

Z = numero de arranques

#### Sumergencia de aspiración

$$V = \frac{4 \cdot Q_{bombeo}}{\pi \cdot D^2}$$

V= velocidad en (m/s)

Q=Caudal de bombeo en ( $m^3/s$ )

D= Diámetro de la tubería de impulsión (m)

La altura de Sumergencia:

$$H = \frac{v^2}{2g} + 0,20m \text{ de margen de seguridad}$$

V= velocidad en (m/s)

H=altura de Sumergencia

### Diámetro de pozo

$$S_{min} = \frac{V_{min}}{Ht}$$

$S_{min}$  = superficie mínima del pozo ( $m^2$ )

$V_{min}$  = Volumen mínimo del pozo ( $m^3$ )

$Ht$  = altura mínima de la lamina del agua (m)

## 2. Pozo bombeo cabecera de entrada

El pozo de bombeo de cabecera se ubica antes de tamices y después del canal de desbaste y cuya función es la de albergar el agua residual para ser impulsada hasta una cota suficiente para que fluya por gravedad posteriormente al resto de los equipos

$$Q = 718 \frac{m^3}{hora} \rightarrow 199,4 \text{ l/s}$$

### Volumen mínimo del pozo:

Se estima un máximo de 8 arranques por hora para evitar el rápido deterioro de los motores que accionan las bombas por calentamiento

$$V = \frac{0,9 \cdot Q_{bombeo}}{arranques} = \frac{0,9 \cdot 199,4}{8} = 22,43 m^3$$

### Sumergencia de aspiración

$$\text{Caudal de bombeo } 718 \frac{m^3}{hora}$$

Diámetro estimado de tubería de impulsión 200mm

$$V = \frac{4 \cdot Q_{bombeo}}{\pi \cdot D^2} \rightarrow \frac{4 \cdot \frac{718}{4 \text{ bombas}} \cdot \frac{1}{3600}}{\pi \cdot 0,20^2} = 1,59 \frac{m}{s}$$

$$H = \frac{v^2}{2g} + 0,20 \rightarrow \frac{1,59^2}{2 \cdot 9,81} + 0,20 = 0,33 m$$

Se adopta una altura entre parada-arranque de seguridad de 0,9 m.

La altura mínima del pozo: 1,23m

#### Diámetro de pozo

La superficie mínima del pozo:

$$S_{min} = \frac{V_{min}}{Ht} = \frac{22,43}{1,23} = 18,235m^2$$

Por lo que adoptamos el siguiente pozo de bombeo:

- Longitud L=5m
- Anchura A=4m
- Altura H=3m

#### Elección del equipo de bombeo

El estudio del sistema de bombeo se debe centrar en la búsqueda de las bombas que mejor se adaptan a los requisitos de caudal y que trabajen con un rendimiento aceptable.

Tabla caudales diseño	
Q med	10000 m <sup>3</sup> /dia
Q med horario	417 m <sup>3</sup> /hora
Q mínimo	209 m <sup>3</sup> /hora
Q max	718 m <sup>3</sup> /hora

**Tabla 24 Caudales diseño sistema de bombeo**

## SUBMERSIBLE SEWAGE PUMPS

# DML-DMLV

### TECHNICAL DATA : MOTOR

50 Hz

	Output      kW	2,2	3,7	5,5	7,5	11	15	22						
	Phase	3												
	Poles	4												
	Insulation Class	F												
Full Load	Voltage      [V]	400	400	690	400	690	400	690	400	690	400	690	400	690
	Current      [ A ]	5,2	8,4	4,8	12,6	7,3	16,9	9,8	23,8	13,7	31	17,9	42	24,2
	Efficiency    %	69,5	72,7	74,5	79	77,4	80,2	86,5						
	Power factor    %	87,6	87,4	84,3	80,9	85,8	86,8	87,3						
Locked Rotor Torque    %		204	226	-	252	-	256	-	170	-	195	-	172	-
Start Current      [ A ]		25,7	48,1	-	82,6	-	116,5	-	136	-	211,9	-	318,5	-
N° starts per hour		20												
Voltage Tolerance		±10%												
Frequency Tolerance		±5%												
GD <sup>2</sup> [ kgxm <sup>2</sup> ]		0,020	0,030	0,059	0,076	0,120	0,160	0,340						

Imagen 26. Características bombas EBARA. Fuente: EBARA

El límite lo marca el caudal máximo que es capaz de recoger la planta y que a su vez será el máximo nivel que podrá bombear el sistema de bombeo.

Partimos de la base del caudal máximo de 718 m<sup>3</sup>/hora. A estos se debe tener en cuenta que el sistema debe contemplar unos niveles de flexibilidad que permitan adaptarse a un funcionamiento en función de un régimen de trabajo que no sea el máximo y a su vez disponer de al menos una bomba de reserva que permita adaptarse a estos cambios de funcionamiento en el caso de que una bomba se encuentre en un proceso de mantenimiento y reparación.

Partiendo de la base de que se utilizan bombas sumergibles, se buscan dentro del catalogo ofrecido por la casa EBARA [5], que ha proporcionado los catálogos y descripciones de los equipos necesarias para el estudio de este apartado. Además se considera que el sistema de conexión de las bombas más adecuado es en paralelo en el que se pueden sumar los caudales elevados por cada bomba, a su vez cada bomba debe ser capaz de elevar en función de ese caudal la altura manométrica calculada

Para la impulsión en cabecera de planta se opta por el modelo DML de la firma EBARA [5] con impulsor monocanal 150 DML 511 en un total de 5 unidades conectadas en paralelo (4+1 de reserva). Se trata de una bomba centrífuga sumergible con unos valores nominales de  $270 \text{ m}^3/\text{hora}$  y 5,4 metros de impulsión que son suficientes para impulsar el agua bruta en función de los datos calculados en línea piezométrica, que son de  $718 \text{ m}^3/\text{hora}$  a  $Q_{\text{max}}$  y de 4,758 metros.

Esto quiere decir que en el peor de los casos, es decir a caudal máximo, podrían trabajar solo 3 bombas ya que serían capaces de elevar  $810 \text{ m}^3/\text{hora}$  aunque con un rendimiento que no sería el óptimo en función de la curva de funcionamiento que se muestra a continuación. En la siguiente tabla se resume el mejor funcionamiento y conexión de bombas en función del número de bombas conectadas.

	$Q_{\text{máx}}(718 \text{ m}^3/\text{hora})$		$Q \text{ medio}(417 \text{ m}^3/\text{hora})$		$Q \text{ mínimo } (209 \text{ m}^3/\text{hora})$	
<b>Bombas conectadas</b>	<b>Q por bomba (<math>\text{m}^3/\text{hora}</math>)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>	<b>Q por bomba (<math>\text{m}^3/\text{hora}</math>)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>	<b>Q por bomba (<math>\text{m}^3/\text{hora}</math>)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>
2 bombas	359	0	208,5	62	104,5	65
3 bombas	239	62,5	139	67	69,66	55
4 bombas	179,50	67	104,25	64	52,25	0

**Tabla 25 Número de bombas en cabecera de planta conectadas en función del caudal**

Se muestra en la tabla de datos que para funcionar a Caudal máximo es preferible la conexión de 4 bombas. Para el caudal medio es preferible el uso de 3 bombas y finalmente en el caso de funcionamiento a caudal mínimo es recomendable el uso de solamente 2 bombas.

En el gráfico de la curva de funcionamiento se aprecia que cada bomba debería de impulsar  $239,3 \text{ m}^3/\text{hora}$  en el caso de configurar la instalación con 3 bombas y eso equivaldría a que las bombas trabajarían con un rendimiento del 62,5 % de rendimiento, que como se aprecia en la curva de rendimiento es inferior al 65%, que es el recomendado por el fabricante para trabajar en un amplio margen de revoluciones y en un margen de caudal de 1800-3200 l/min. Por lo que se opta por la elección de 4 bombas que en el peor de los casos comentado anteriormente elevarán un máximo de  $179,50 \text{ m}^3/\text{hora}$  con un rendimiento del 67%.

Es importante que el sistema de bombeo disponga de las mismas bombas o con una curva de funcionamiento muy similar para evitar posibles malfuncionamientos y que como

se ha comentando anteriormente disponga de una bomba de reserva para posibles anomalías en el funcionamiento de las 4 diseñadas

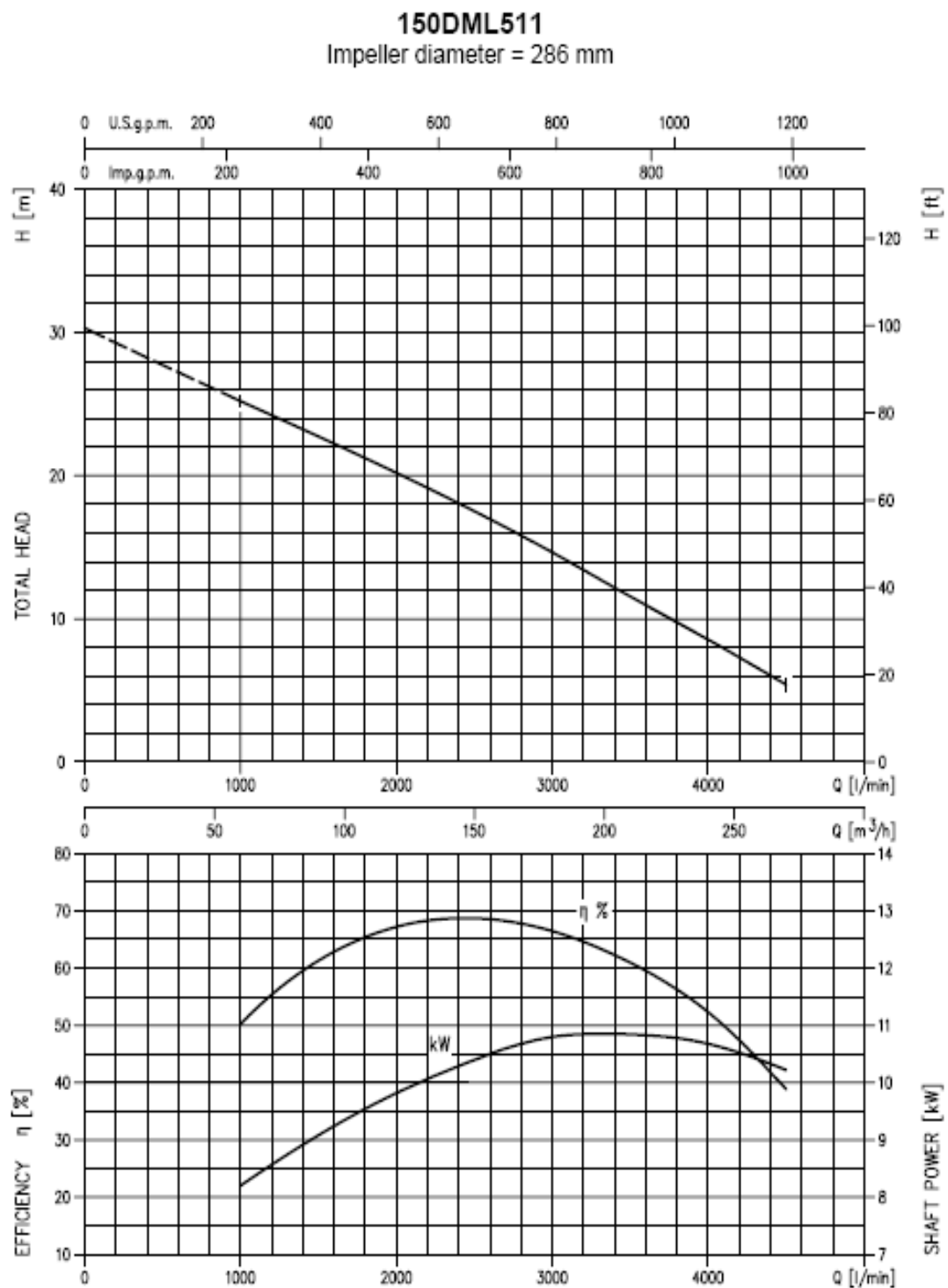


Imagen 27. Curva de funcionamiento de la bomba 150 DML 511. Fuente: EBARA



### 3. Pozo bombeo recirculación

Q=Caudal de bombeo =  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  por línea que equivale a  $359 \text{ m}^3/\text{hora} \rightarrow 99,7 \text{ l/s}$

H=Altura útil de bombeo (diferencia de cotas salida-entrada reactor biológico 0,693)+(perdida de carga tubería recirculación interna 1,405)=2,098 m. Por seguridad empleamos 2,5 metros

#### Volumen mínimo del pozo:

Se estima un máximo de 8 arranques por hora para evitar el rápido deterioro de los motores que accionan las bombas por calentamiento

$$V = \frac{0,9 \cdot Q_{\text{bombeo}}}{\text{arranques}} = \frac{0,9 \cdot 99,7}{8} = 11,21 \text{ m}^3$$

#### Sumergencia de aspiración

Caudal de bombeo  $718 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$

Diámetro estimado de tubería de impulsión 150 mm

$$V = \frac{4 \cdot Q_{\text{bombeo}}}{\pi \cdot D^2} \rightarrow \frac{4 \cdot \frac{359}{4 \text{ bombas}} \cdot \frac{1}{3600}}{\pi \cdot 0,15^2} = 1,41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$H = \frac{v^2}{2g} + 0,20 \rightarrow \frac{0,35^2}{2 \cdot 9,81} + 0,20 = 0,30 \text{ m}$$

Se adopta una altura entre parada-arranque de seguridad de 0,9 m.

La altura mínima del pozo: 1,20m

### Diámetro de pozo

La superficie mínima del pozo:

$$S_{min} = \frac{V_{min}}{Ht} = \frac{11,21}{1,21} = 9,26m^2$$

Por lo que adoptamos el siguiente pozo de bombeo:

Longitud      L=3,5m

Anchura        A=3m

Altura          H=3m

### Elección del equipo de bombeo

El estudio del sistema de bombeo se debe centrar en la búsqueda de las bombas que mejor se adaptan a los requisitos de caudal y que trabajen con un rendimiento aceptable.

Tabla caudales diseño	
Q med	10000 m <sup>3</sup> /dia
Q med horario	209 m <sup>3</sup> /hora
Q mínimo	105 m <sup>3</sup> /hora
Q max	359 m <sup>3</sup> /hora

**Tabla 26 Caudales diseño sistema de bombeo recirculación**

El límite lo marca el caudal máximo que es capaz de recoger la planta y que a su vez será el máximo nivel que podrá bombear el sistema de bombeo.

Partimos de la base del caudal máximo de 359 m<sup>3</sup>/hora por línea estos se debe tener en cuenta que el sistema debe contemplar unos niveles de flexibilidad que permitan adaptarse a un funcionamiento y a un régimen de trabajo que no sea el máximo y a su vez disponer de al menos una bomba de reserva que permita adaptarse a estos cambios de funcionamiento en el caso de que una bomba se encuentre en un proceso de mantenimiento y reparación.

Se utilizan bombas sumergibles, se buscan dentro del catalogo ofrecido por la casa EBARA [5], que ha proporcionado los catálogos y descripciones de los equipos necesarias para el estudio de este apartado. Además se considera que el sistema de conexión de las bombas más adecuado es en paralelo en el que se pueden sumar los caudales elevados por cada bomba, a su vez cada bomba debe ser capaz de elevar en función de ese caudal la altura manométrica calculada

Para la impulsión en recirculación se opta por el modelo DML de la firma EBARA [5] con impulsor monocal 150 DML 57,5 en un total de 4 unidades conectadas en paralelo por línea (3+1 de reserva). Se trata de una bomba centrífuga sumergible especialmente diseñada para bombeo de aguas residuales con unos valores nominales de  $240 \text{ m}^3/\text{hora}$  y 4 metros de impulsión que son suficientes para impulsar el agua bruta en función de los datos calculados en línea piezométrica, que son de  $359 \text{ m}^3/\text{hora}$  a  $Q_{\text{max}}$  y de 2,5 metros.

Esto quiere decir que en el peor de los casos, es decir a caudal máximo, podrían trabajar solo 2 bombas ya que serian capaces de elevar  $480 \text{ m}^3/\text{hora}$  aunque con un rendimiento que no sería el óptimo en función de la curva de funcionamiento que se muestra a continuación. En la siguiente tabla se resume el mejor funcionamiento y conexión de bombas en función del número de bombas conectadas.

	$Q_{\text{máx}}(359 \text{ m}^3/\text{hora})$		$Q_{\text{medio}}(209 \text{ m}^3/\text{hora})$		$Q_{\text{mínimo}}(105 \text{ m}^3/\text{hora})$	
Bombas conectadas	Q por bomba ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )	$\eta$ (%)	Q por bomba ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )	$\eta$ (%)	Q por bomba ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )	$\eta$ (%)
1 bomba	359	0	209	58	105	70
2 bombas	179,5	65	104,5	69	52,5	0
3 bombas	120	71	69,66	67	35	0

**Tabla 27 Numero de bombas en recirculación conectadas en función del caudal**

Se muestra en la tabla de datos que para funcionar a Caudal máximo es preferible la conexión de 3 bombas. Para el caudal medio es preferible el uso de 2 bombas y finalmente en el caso de funcionamiento a caudal mínimo es recomendable es uso de solamente 1 bomba

En el grafico de la curva de funcionamiento se aprecia que cada bomba debería de impulsar  $179,5 \text{ m}^3/\text{hora}$  y eso equivaldría a que las bombas trabajarían con un rendimiento del 65 % de rendimiento, que como se aprecia en la curva de rendimiento es inferior al 66%, que es el recomendado por el fabricante para trabajar en un amplio margen de revoluciones y en un margen de caudal de 1100-3000 l/min. Por lo que se opta por la elección de 3 bombas que en el peor de los casos comentado anteriormente comentando elevaran un máximo de  $120 \text{ m}^3/\text{hora}$  con un rendimiento del 71%.

Es importante que el sistema de bombeo disponga de bombas idénticas o de similares características, con una curva de funcionamiento muy similar para evitar posibles malfuncionamientos y que como se ha comentando anteriormente disponga de una bomba de reserva para posibles anomalías en el funcionamiento de las 3 diseñadas

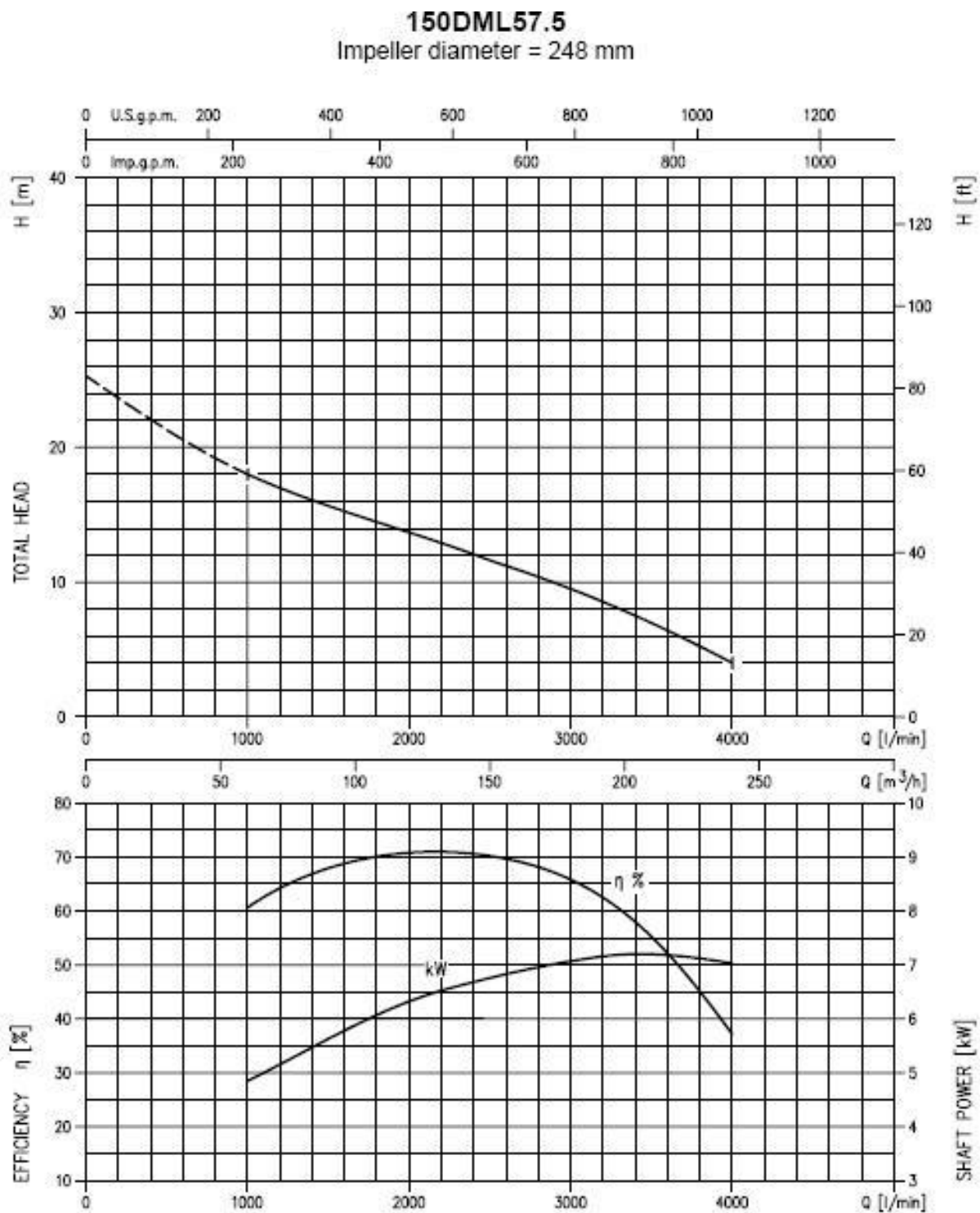


Imagen 28. Curva de funcionamiento de la bomba 150 DML 57,5. Fuente: EBARA

***Anexo 3***  
***Cálculos***  
***Eléctricos***

## Anexo 3 Cálculos eléctricos

Siguiendo las especificaciones técnicas de EMUASA [1], el sistema de control de las bombas se situará dentro de un local denominado centro de control de motores (CCM). Estos locales estarán alojados en una ubicación independiente de donde están situados los equipos a los que controla.

### Cuadro eléctrico

El control eléctrico de las bombas se centralizará en los cuadros de control que alojarán los componentes necesarios tanto de control, como de protección, necesarios para un correcto funcionamiento del sistema de bombeo. Estos cuadros de control deberán cumplir requisitos específicos según EMUASA [1], que a su vez se basan en el reglamento electrotécnico de baja tensión. Cabe destacar que los cuadros deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Se desestima el uso de cuadros o armarios de chapa por el riesgo de conducción eléctrica siendo recomendable el uso de materiales aislantes preferiblemente poliéster
- Todos los equipos deben estar perfectamente identificados y en el interior de cada cuadro se indicará la potencia y la intensidad consumida por cada equipo
- Los dispositivos a colocar en el interior de los cuadros llevarán las partes activas totalmente protegidas y todos los cables de los cuadros estarán perfectamente identificados

Los componentes básicos que dispondrán los cuadros eléctricos son los siguientes:

- Caja de poliéster
- Contactores
- Selectores manual-0-automatico
- Pilotos de alarma de bomba en marcha, bajo nivel y disparo térmico
- Selector local/remoto

Además de estos componentes suministrados por el proveedor hay que añadir los siguientes

- Cuenta horas por cada bomba
- Arrancador estrella-triángulo
- Protección individual y personalizada para cada bomba

### Arrancador

El arrancador estrella triángulo es el método más económico y sencillo para el arranque de los motores. El funcionamiento de este tipo de arranque, como se aprecia en el anexo de planos, se centra el arranque inicial del motor en la configuración estrella y posteriormente cuando se alcanza el 80% de la velocidad del motor se conmuta a la configuración en triángulo.

El sistema de arranque estrella-triángulo es ideal para este tipo de motores porque en el arranque de un motor eléctrico de manera directa puede consumir hasta 8 veces su Intensidad nominal. Este uso está muy extendido en motores de potencia superior a 0.75 KW ya que el reglamento ITC-BT-47 exige que a partir de esa potencia los motores eléctricos estén provistos de sistemas de arranque. El sistema estrella-triángulo reduce en  $\frac{1}{3}$  la intensidad de arranque de los motores de la bomba y un  $\frac{1}{3}$  también el par de arranque y a su vez esta corriente es suficiente para acelerar el motor. Al conmutar al triángulo la intensidad de pico de arranque disminuye pero a su vez aumenta la potencia que es necesaria para mantener la velocidad del motor. El ITC-BT-47 recoge que los motores que estén entre 5-15 KW de potencia la relación entre la intensidad de arranque y la intensidad nominal no deben ser superiores a un factor de 2. Además este reglamento incluye un punto en el que adopta un factor de multiplicación de 1,3 al valor de la Intensidad nominal para los motores que se utilicen para sistemas de elevación, como en este caso que su función es la de elevar fluido

El principio de funcionamiento del sistema estrella-triángulo se resume de la siguiente manera:

Al pulsar el contactor S1 se alimentan los Contactores KM1, KM3 y el temporizador KA1. El contactor KM1 es el que alimenta el motor de la red, el contactor KM3 controla el circuito estrella y el temporizador KA1 estará programado para dar la orden cuando se alcanza el régimen de giro del motor previsto de conmutar el circuito y pasar a la configuración estrella. Cuando el motor alcanza el 80% de su velocidad (entre 3 y 9 segundos) el temporizador desconecta el contactor KM3 y activa el KM2 que alimenta el circuito en triángulo para que el motor desarrolle su velocidad final.

El arrancador estrella triángulo lo suministra el propio fabricante del equipo con el motor cuyo sistema de conexión se describe en el plano 7 del anexo de planos

### Protecciones

Cada equipo debe incorporar una protección individual que les proteja de posibles sobre corrientes y sobretensiones que provoquen una avería en el equipo. A su vez estas protecciones deben ser independientes entre las bombas para evitar que una posible avería pueda dejar fuera de servicio a toda la instalación completa. A su vez al tratarse de motores trifásicos los que impulsan las bombas, se debe de proteger el riesgo de falta de tensión como indica el ITC-BT 47

Se utilizan dos tipos de protecciones para cada bomba, el interruptor magnetotérmico y el relé térmico.

El magnetotérmico protege contra sobrecorrientes y sobrecargas y el relé térmico protege contra los picos de Intensidad que produce un motor en su arranque y detectan una eventual falta de tensión en alguna de las fases

#### Relé térmico:

Se aplica un factor de servicio de 1.2 al valor de la intensidad nominal que proporciona el fabricante y que viene incorporado en la bomba

#### Interruptor magnetotérmico

Las protecciones recomendadas deben cumplir las siguientes características:

- Máximo 5 Intensidad nominal de disparo por curva térmica
- Curva tipo C de disparo térmico

**Protección curva electromagnética:** Son las protecciones que reaccionan ante sobreintensidades de alto valor. En los arranques de los motores se producen altas intensidades en cortos tiempos y este sistema debe proteger que esa intensidad en el arranque no sea demasiado excesiva y cumplen la función de protección contra cortocircuitos

**Protección curva térmica:** Son las protecciones que actúan ante las sobrecargas. Estas protecciones simulan a través de un bimetálico, el calentamiento y enfriamiento del motor protegido en base a sus constantes de tiempo.



**Curva tipo C:** Este tipo de curvas actúan entre 1,13 y 1,45 veces la intensidad nominal en zona térmica y en su zona magnética entre 5-10  $I_n$  y en nuestro caso deber ser de 4 polos ya que debe de proteger las 3 fases+neutro

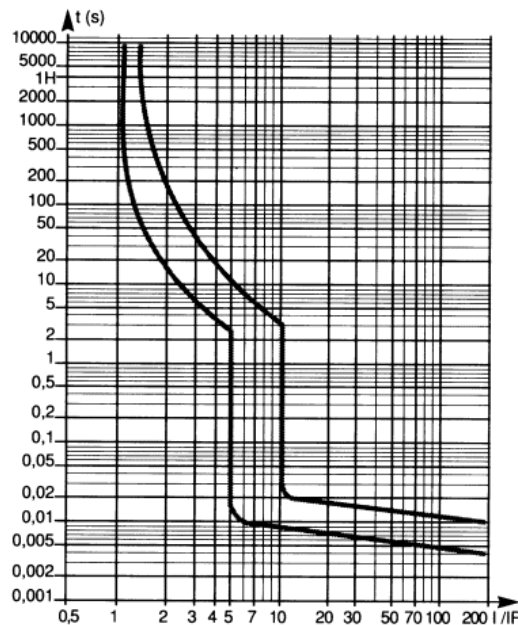


Imagen 29. Curva tipo C disparo magnetotérmico.

Fuente: <http://www.netcom.es>

El interruptor magnetotérmico es el aparato que agrupa estos dos tipos de protecciones y poseen 3 tipos de desconexión, La manual, la magnética y la térmica que pueden actuar independientemente.

Los valores máximos recomendados anteriormente por EMUASA [1] son los que marcan la elección del magnetotérmico. Estos interruptores están catalogados bajo criterios normalizados para evitar que los materiales internos se fundan y como consecuencia se destruyan ya que aunque salten las protecciones, posteriormente el interruptor puede ser utilizado de nuevo ya que es un dispositivo que permite el rearme y su puesta en funcionamiento de nuevo .

Las características que definen el interruptor son el amperaje, el número de polos, el poder de corte y el tipo de curva de disparo



Imagen 30. Interruptor magnetotérmico.  
Fuente: <http://arqui.com>

La reglamentación vigente (ITC-BT-22) obliga a dimensionar los circuitos y sus protecciones a efectos de intensidad máxima admisible, cuando se pueden producir sobrecargas admisibles.

La intensidad de cálculo para la elección del magnetotérmico adecuado será menor o igual a la intensidad nominal, y esta a su vez será menor o igual que la máxima admisible del equipo a proteger:

$$I_c \leq I_n \leq I_{maxadm}$$

La intensidad de fusión que produce el disparo seguro del térmico a tiempo con una sobrecarga de tiempo convencional, será menor que la intensidad máxima admisible que soporta el conductor incrementada en un 45%

$$I_f = 1,45 \cdot I_{maxadm}$$

En los magnetotérmico, en caso de sobrecargas, no se asegura el disparo del mismo hasta que se produzca una sobreintensidad que supere el cociente entre la intensidad de fusión y la nominal del magnetotérmico. Este cociente se conoce como coeficiente de disparo térmico. Según la norma IEC947-22 en uso industrial este coeficiente no debe superar el valor de 1,30

$$c_{dt} = \frac{I_f}{I_n}$$

El poder de corte en caso de sobrecargas en (KA) debe ser normalizado y el magnetotérmico debe tener un poder de corte superior a la máxima corriente de CC que puede pasar por el para asegurarse que funde antes de destruirse

Los magnetotérmico de curva C tienen las características de que a partir de  $5 I_n$  entra en funcionamiento la parte magnética (cortocircuito) y no la térmica (sobrecarga). En el valor superior a  $10 I_n$  abre el circuito entre 0,05 y 0,1 segundos

#### Calculo de los conductores y el neutro

El sistema que proporciona la corriente al sistema de bombeo es un sistema trifásico de 380V. El cálculo del cableado necesario que conecta el cuadro de control con las bombas debe cumplir una serie de requisitos mínimos. En primer lugar se determinarán los cables necesarios en valores mínimos al centro de control de motores en cabecera de planta y posteriormente los necesarios individualmente para el funcionamiento de cada bomba

En primer lugar hay que tener en cuenta los siguientes valores para le dimensionamiento:

- Intensidad admisible
- Caída de tensión
- Mínimos del reglamento

El cálculo de la intensidad máxima admisible en líneas trifásicas se basa en la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

Siendo:

P= potencia suministro (W)

U= Tensión de servicio (V) 380V en trifásica

$\cos\varphi$ = factor de potencia que se estima en 0,85

Pasos a seguir una vez calculada la intensidad admisible:

- Con la intensidad calculada se busca en la tabla del reglamento ITC-BT-07 para la instalación enterrada antes del centro de control de motores. Y las tablas del ITC-BT-19 que corresponden a los cables directamente en la pared que son los instalados para conectar los motores con el CCM
- La caída de tensión con carácter general no deberá superar el 5% según el reglamento ITC-BT-07 para las instalaciones enterradas en zanja y del 6,5% basándose en el ITC-BT-19
- Los conductores de protección se basaran en la tabla 2 del ITC-BT-19 y en la 1 del ITC-BT-07
- La sección mínima de los cables tanto de fase como neutro son de 6mm<sup>2</sup>
- El cable elegido para la instalación interior de cada derivación sobre pared es el designado en norma UNE 21 123-4: RZ1-K. cable de tensión asignada 0,6/1KV, conductor de cobre, aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a basa de poliolefina

## 1. Instalación eléctrica bombeo de cabecera

Las bombas instaladas en la cabecera de planta según indica el fabricante corresponde a 11 KW y 15 Cv cada bomba. Con arranque estrella-triángulo. La conexión de cada bomba es trifásica a 380 V y la intensidad máxima absorbida de cada bomba es de 23,8 A.

La potencia total de los equipos de bombeo con un total de 11 KW cada bomba hacen un total de 44KW a pleno rendimiento las 4 bombas

La relación entre intensidad nominal y de arranque regulada por el ITC-BT-47 no debe ser superior a 2.

La intensidad de arranque en configuración directa corresponde a 136 A, que en configuración estrella-triángulo se reduce 1/3 y la intensidad nominal corresponde a 23.8 A. A efectos de cálculo se multiplica por un factor de 1.3 ya que es un equipo de elevación

$$R = \frac{I_{\text{arranque}}}{I_{\text{nominal}}} = \frac{136 \times 1/3}{23.8 \times 1.3} = 1.46 < 2$$

Los cuadros de control elegidos son los suministrados por el fabricante de las bombas que es EBARA. En el caso del bombeo de cabecera se opta por instalar 2 cuadros que controlan 2 bombas cada uno que disponen de un conmutador para seleccionar si se requiere el uso de 1 ó de las 2 bombas que controla. Además se dispondrá de la bomba de reserva que dispondrá de su propio cuadro de control para su control. Los cuadros de control dispondrán de un selector para actuar en modo local-remoto y a su vez las funciones se podrán regular de manera manual o automáticamente con un selector de 3 posiciones manual-0-automático. La diferencia de control se diferencia en que el control remoto se controla mediante un autómatas y el control local se ejecuta a través de actuaciones en el propio cuadro de mando



Imagen 31. Cuadros de control bombas. Fuente: EBARA

### **Protecciones:**

Magnetotérmico:

Cada una de las bombas incorpora un magnetotérmico de control que como se ha comentado anteriormente deberá proteger de las posibles sobrecargas y cortocircuitos que puedan aparecer.

Por lo tanto si cada bomba la intensidad de máxima admisible es de 23,8 A.

$$I_c \leq I_n \leq I_{maxadm}$$

Por lo tanto  $I_n$  será de 20 A

$$c_{dt} = \frac{I_f}{I_n} \rightarrow I_f = c_{dt} \cdot I_n = 1,30 \cdot 20 = 26$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_{maxadm} \rightarrow 26 \leq 1,45 \cdot 23,8 = 34,51A$$

Para el poder de corte se marca un máximo por EMUASA de 5000 A por lo que el siguiente normalizado corresponde a 10 KA

Por lo que el magnetotérmico elegido para cada bomba será el C 20A, 4P, 10 kA

#### Relé térmico:

Proporcionado por el fabricante e incorporado en la bomba

#### **Sección de cable de la línea individual de las bombas de cabecera:**

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \rightarrow \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 18,67A$$

Para la instalación se escoge el cable multiconductor trifásico, directamente instalado en soportes sobre la pared con recubrimiento de XLPE (polietileno reticulado) según norma ITC-BT-19 y se elige el mínimo de 6 mm<sup>2</sup> que es capaz de soportar 44 A, suficientes para soportar la I<sub>max</sub> admisible recomendada por el fabricante que es de 23,8 A en las peores condiciones de  $\cos\varphi$ . Se utiliza el cable tipo RZ1-K-0,6/1KV 4G que según fabricante soporta una I<sub>max</sub> de 46 A

Por otra parte la sección mínima del cable que debe llegar al cuarto de control de motores en el caso de que solo controle las bombas, teniendo en cuenta que a máximo consumos las 4 bombas tienen un consumo de 44 KW

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \rightarrow \frac{44000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 78,64A$$

En este caso el cableado vendrá de la acometida por lo tanto será subterráneo y será cable enterrado bajo zanja por lo que habrá que fijarse en el ITC-BT-07 en la tabla 5 que tabula los valores de los cables tetrapolar con recubrimiento de PVC, por lo que se escoge la sección de 16mm<sup>2</sup> que soportan 97 A y que serían suficientes.

A este valor se valora la resistividad térmica del terreno en 1 K. m/W, sin embargo hay que tener en cuenta el factor de corrección para agrupaciones de cables trifásicos con una distancia entre cables estimada de 0,07m. Por lo que según la tabla 8 del ITC-BT-07 este factor es de 0,75 por lo que la nueva Intensidad máxima admisible  $78,64/0,75=104,5$  A. por lo que se escoge la sección de  $25\text{mm}^2$  que es capaz de soportar 125 A con neutro que debe ser como mínimo de  $16\text{mm}^2$  como indica la tabla 1 del ITC-BT-07

## 2. Instalación eléctrica bombeo de recirculación

Las bombas instaladas en la recirculación según indica el fabricante corresponde a 7,5 KW y 10 Cv cada bomba. Con arranque estrella-triángulo. La conexión de cada bomba es trifásica a 380 V y la intensidad máxima absorbida de cada bomba es de 16,9 A.

La potencia total de los equipos de bombeo con un total de 7,5 KW cada bomba hacen un total con las 3 bombas de una potencia de 22,5 KW a pleno rendimiento las 3 bombas

Los cuadros de control elegidos son los suministrados por el fabricante de las bombas que es EBARA. En el caso del bombeo de cabecera se opta por instalar 1 cuadro que controla 2 bombas que dispone de un conmutador para seleccionar si se requiere el uso de 1 ó de las 2 bombas que controla, junto a este cuadro se instalará un cuadro que controle la otra bomba independiente. Además se dispondrá de la bomba de reserva que tendrá su propio cuadro de control. Los cuadros de control dispondrán de un selector para actuar en modo local-remoto y a su vez las funciones se podrán regular de manera manual o automáticamente con un selector de 3 posiciones manual-0-automático. La diferencia de control se diferencia en que el control remoto se controla mediante un autómatas y el control local se ejecuta a través de actuaciones en el propio cuadro de mando

La relación entre intensidad nominal y de arranque regulada por el ITC-BT-47 no debe ser superior a 2.

La intensidad de arranque en configuración directa corresponde a 116,5 A, que en configuración estrella-triángulo se reduce 1/3 y la intensidad nominal corresponde a 16.9 A. A efectos de cálculo se multiplica por un factor de 1.3 ya que es un equipo de elevación

$$R = \frac{I_{\text{arranque}}}{I_{\text{nominal}}} = \frac{116.5 \times 1/3}{16.9 \times 1.3} = 1.76 < 2$$

**Protecciones:**

Cada una de las bombas incorpora un magnetotérmico de control que como se ha comentado anteriormente deberá proteger de las posibles sobrecargas y cortocircuitos que puedan aparecer.

Por lo tanto si cada bomba la intensidad máxima admisible es de 16,9 A.

$$I_c \leq I_n \leq I_{maxadm}$$

Por lo tanto  $I_n$  será de 16 A

$$c_{dt} = \frac{I_f}{I_n} \rightarrow I_f = c_{dt} \cdot I_n = 1,30 \cdot 16 = 20,8$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_{maxadm} \rightarrow 20,8 \leq 1,45 \cdot 16,9 = 24,50A$$

Para el poder de corte se marca un máximo por EMUASA de 5000 A por lo que el siguiente normalizado corresponde a 10 KA

Por lo que el magnetotérmico elegido para cada bomba será el C 16A, 4P, 10 kA

**Sección de cable de la línea individual del bombeo de recirculación:**

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \rightarrow \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 13,40A$$

Para la instalación se escoge el cable multiconductor trifásico, directamente instalado en soportes sobre la pared con recubrimiento de XLPE (polietileno reticulado) según norma ITC-BT-19 y se elige el mínimo de 6 mm<sup>2</sup> que es capaz de soportar 44 A. Se escoge el mínimo de 6 mm<sup>2</sup> que es capaz de soportar 44 A, suficientes para soportar la  $I_{max}$  admisible recomendada por el fabricante que es de 16,9 A. Se utiliza el cable tipo RZ1-K-0,6/1KV 4G que según fabricante soporta una  $I_{max}$  de 46 A

Por otra parte la sección mínima del cable que debe llegar al cuarto de control de motores en el caso de que solo controle las bombas, teniendo en cuenta que a máximo consumos las 3 bombas tienen un consumo de 22,5 KW



$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \rightarrow \frac{44000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 40,21A$$

En este caso el cableado vendrá de la acometida por lo tanto será subterráneo y será cable enterrado bajo zanja por lo que habrá que fijarse en el ITC-BT-07 en la tabla 5 que tabula los valores de los cables tetrapolar con recubrimiento de PVC, por lo que se escoge la sección de 10mm<sup>2</sup> que soportan 75 A y que serian suficientes.

A este valor se valora la resistividad térmica del terreno en 1 K. m/W, sin embargo hay que tener en cuenta el factor de corrección para agrupaciones de cables trifásicos con una distancia entre cables estimada de 0,07m. Por lo que según tabla 8 del ITC-BT-07 este factor es de 0,75 por lo que la nueva Intensidad máxima admisible 40,21/0,75=53,62 A. Por lo que el de 10 mm<sup>2</sup> es suficiente para cumplir los requisitos mínimos, además con un neutro de un mínimo de 10 mm<sup>2</sup>

#### Resumen:

En el centro de control de motores se encuentran las 3 cajas de control 2 de ellas controlan 2 bombas cada caja y una sola independiente. Los componentes para el control de la bomba suministrados por el fabricante son:

- Contactores
- Selectores Manual-0-Automatico
- Selector local/remoto
- Pilotos de bomba en marcha, de disparo térmico y bajo nivel
- Interruptor general de corte de carga
- Arrancador estrella-triángulo

Además de estos componentes hay que sumar los siguientes componentes:

- Protección magnetotérmico
- Cuenta horas por cada bomba
- Voltímetro general

## ***Anexo 4***

### ***Presupuestos***

## Anexo 4 Presupuestos

Presupuesto: Enumeración de las cantidades

### Capítulo 1 bombeo cabecera de planta

Código	Resumen	Uds	Longitud	cantidad
01.01	Bomba impulsión 150 DML 511 Bomba centrífuga sumergible. Modelo 150 DML 511. Marca ebara Código 6241301115			5
01.02	Cuadro de control bombas. Mod. 2 bombas Cuadro de control para 2 bombas, caja de poliéster. Marca EBARA Código 622HO12092309			2
01.03	Cuadro de control bombas Mod. 1 bomba Cuadro de control para 1 bomba, caja de poliéster Marca EBARA Código 622HO11092309			1
01.04	Interruptor magnetotérmico de protección Interruptor magnetotérmico de protección individual para cada bomba. Especificaciones C 20A, 4P, 10 KA Fabricante direct-electro Código DE LS63 C-4P-20			5
01.05	Cuenta horas individual. Fabricante EBARA			5
01.06	Voltímetro general. Fabricante EBARA			1
01.07	Cable tetrapolar sección 6 mm <sup>2</sup> con recubrimiento de XLPE (polietileno reticulado) tipo RZ1-K-0,6/1KV 4G. I <sub>max</sub> de 46 A. Fabricante centercable Código 047032		200m	
01.08	Válvula de compuerta cierre elástico. DN 200 Fabricante Ebara. D=200mm Código: 622CW72000003			5
01.09	Válvula de retención. DN 200-PN 10 Fabricante Ebara Código: 6241090016			5

**Tabla 28 enumeración cantidades bombeo cabecera**

## Capítulo 2 bombeo recirculación

Código	Resumen	Uds	Longitud	cantidad
02.01	Bomba impulsión 150 DML 57,5 Bomba centrifuga sumergible. Modelo 150 DML 511. Marca ebara Código 624130145			4
02.02	Cuadro de control bombas. Mod. 2 bombas Cuadro de control para 2 bombas, caja de poliéster. Marca EBARA Código 622HO12072309			1
02.03	Cuadro de control bombas Mod. 1 bomba Cuadro de control para 1 bomba, caja de poliéster Marca EBARA Código 622HO11072309			2
02.04	Interruptor magnetotérmico de protección Interruptor magnetotérmico de protección individual para cada bomba. Especificaciones C 16A, 4P, 10 Ka. Fabricante direct-electro Código DE LS63 C-4P-16			4
02.05	Cuenta horas individual. Fabricante EBARA			4
02.06	Voltímetro general. Fabricante EBARA			1
02.07	Cable tetrapolar sección 6 mm <sup>2</sup> con recubrimiento de XLPE ( polietileno reticulado) tipo RZ1-K-0,6/1KV 4G. I <sub>max</sub> de 46 A. Fabricante centercable Código 047032		200m	
02.08	Válvula de compuerta cierre elástico. DN 150 Fabricante Ebara. D=150mm Código: 622CW71500003			4
01.09	Válvula de retención. DN 150-PN 10 Fabricante Ebara Código: 6241090015			4

**Tabla 29 enumeración cantidades bombeo recirculación**

## Presupuestos parciales

### Capítulo 1 bombeo cabecera de planta

Código	Resumen	Uds	Precio/unidad	Importe
<b>01.01</b>	Bomba impulsión 150 DML 511 Bomba centrífuga sumergible. Modelo 150 DML 511. Marca ebara Código 6241301115	5	6621	33105
<b>01.02</b>	Cuadro de control bombas. Mod. 2 bombas Cuadro de control para 2 bombas, caja de poliéster. Marca EBARA Código 622HO12092309	2	2850	5700
<b>01.03</b>	Cuadro de control bombas Mod. 1 bomba Cuadro de control para 1 bomba, caja de poliéster Marca EBARA Codigo 622HO11092309	1	1715	1715
<b>01.04</b>	Interruptor magnetotérmico de protección Interruptor magnetotérmico de protección individual para cada bomba. Especificaciones C 20A, 4P, 10 kA Fabricante direct-electro Código DE LS63 C-4P-20	5	13,20	66
<b>01.05</b>	Cuenta horas individual. Fabricante EBARA	5	89	445
<b>01.06</b>	Voltímetro general. Fabricante EBARA	1	212	212
<b>01.07</b>	Cable tetrapolar sección 6 mm <sup>2</sup> con recubrimiento de XLPE ( polietileno reticulado) tipo RZ1-K-0,6/1KV 4G. I <sub>max</sub> de 46 A. Fabricante centercable Código 047032	200	5,002	1000,4
<b>01.08</b>	Válvula de compuerta cierre elástico. DN 200 Fabricante Ebara. D=200mm Código: 622CW72000003	5	964	4820
<b>01.09</b>	Válvula de retención. DN 200-PN 10 Fabricante Ebara Codigo: 6241090016	5	1518	7590
<b>SUBTOTAL SIN IVA</b>				54653,4
<b>SUBTOTAL CON IVA (18%)</b>				64491,01

Tabla 30 presupuesto bombeo cabecera

## Capítulo 2 bombeo recirculación

Código	Resumen	Uds	Precio/unidad	Importe
02.01	Bomba impulsión 150 DML 57,5 Bomba centrífuga sumergible. Modelo 150 DML 511. Marca ebara Código 624130145	8	5200	41600
02.02	Cuadro de control bombas. Mod. 2 bombas Cuadro de control para 2 bombas, caja de poliéster. Marca EBARA Código 622HO12072309	2	2471	4942
02.03	Cuadro de control bombas Mod. 1 bomba Cuadro de control para 1 bomba, caja de poliéster Marca EBARA Código 622HO11072309	4	1643	6572
02.04	Interruptor magnetotérmico de protección Interruptor magnetotérmico de protección individual para cada bomba. Especificaciones C 20A, 4P, 10 kA Fabricante direct-electro Código DE LS63 C-4P-16	10	13,20	132
02.05	Cuenta horas individual. Fabricante EBARA	10	89	890
02.06	Voltímetro general. Fabricante EBARA	2	212	424
02.07	Cable tetrapolar sección 6 mm <sup>2</sup> con recubrimiento de XLPE ( polietileno reticulado) tipo RZ1-K-0,6/1KV 4G. I <sub>max</sub> de 46 A. Fabricante centercable Código 047032	400m	5,002/metro	8000,4
02.08	Válvula de compuerta cierre elástico. DN 150 Fabricante Ebara. D=150mm Código: 622CW71500003	8	542	4336
02.09	Válvula de retención. DN 150-PN 10 Fabricante Ebara Código: 6241090015	8	779	6232
SUBTOTAL SIN IVA				73128,4
SUBTOTAL CON IVA (18%)				86291,51

**Tabla 31 presupuesto bombeo recirculación**

---

**Resumen presupuesto sistema de bombeo EDAR**

<b>Subtotal bombeo cabecera</b>	<b>54653,4 €</b>
<b>Subtotal bombeo recirculación</b>	<b>73128,4 €</b>
<b>Total sistema bombeo Edaru sin IVA</b>	<b>127781,8 €</b>
<b>Total sistema bombeo Edaru con IVA (18%)</b>	<b>150782,52 €</b>

**Tabla 32 presupuesto bombeo EDARU**

***Anexo 5***  
***Referencias***  
***Y***  
***Bibliografía***



## Anexo 5 Referencias Y Bibliografía

### 1. Referencias

- [1] Garrido, A., Segovia, J., Sánchez, M., López, J.F., Gadea, A., Egea, R. “Manual de especificaciones técnicas para proyectos de construcción, ampliación o reformas de estaciones depuradoras de aguas residuales” (Diego Marín, 2006, 1ª edición)
- [2] Sigpac; Sistema de información geográfica de parcelas agrícolas; Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente; [http:// sigpac.mapa.es/fega/visor](http://sigpac.mapa.es/fega/visor)
- [3] Isla de Juana, Ricardo. “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas” (Bellisco Ediciones, 2005 1ª edición)
- [4] Descripción de una central depuradora de aguas residuales basada en la EDAR de Linares. Autor: Prof D. Antonio Aznar Jiménez
- [5] Catalogo fabricante Bombas EBARA
- [6] CEDEX, Centro de estudios y experimentación en obras públicas. Hispagua, Sistema español de información sobre el agua
- [7] Apuntes de teoría del Profesor Antonio Aznar. Profesor Titular del departamento de ciencia e ingeniería de materiales e Ingeniería Química
- [8] Hernández Muñoz, A., Galán Martínez, P., “Manual depuración Uralita”(Paraninfo, 2004)
- [9] Metcalf & Eddy, “Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y restauración” (Mc. Graw-Hill, 1998)
- [10] INE, Instituto Nacional de Estadística
- [11] Manual especificaciones técnicas fabricante EBARA “manual de instalación y operación”
- [12] MARA, D. D. & S. CAIRNCROSS. 1990. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretus en agricultura y acuicultura. Medidas de protección de la salud pública.( Organización Mundial de la Salud. 1990. Ginebra. CH.)
- [13] Dirección General del Catastro

## 2. Bibliografía

1/ Garrido, A., Segovia, J., Sánchez, M., López, J.F., Gadea, A., Egea, R. “Manual de especificaciones técnicas para proyectos de construcción, ampliación o reformas de estaciones depuradoras de aguas residuales” (Diego Marín, 2006, 1ª edición)

2/ ] Hernández Muñoz, A., Galán Martínez, P., “Manual depuración Uralita” (Paraninfo, 2004)

3/ Metcalf & Eddy, “Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y restauración” (Mc. Graw-Hill, 1998)

4/ Garrido, A., Segovia, J., Sánchez, M., López, J.F., Gadea, A., Egea, R. “Manual de especificaciones técnicas para proyectos de construcción, ampliación o reformas de estaciones depuradoras de aguas residuales” (Diego Marín, 2006, 1ª edición)

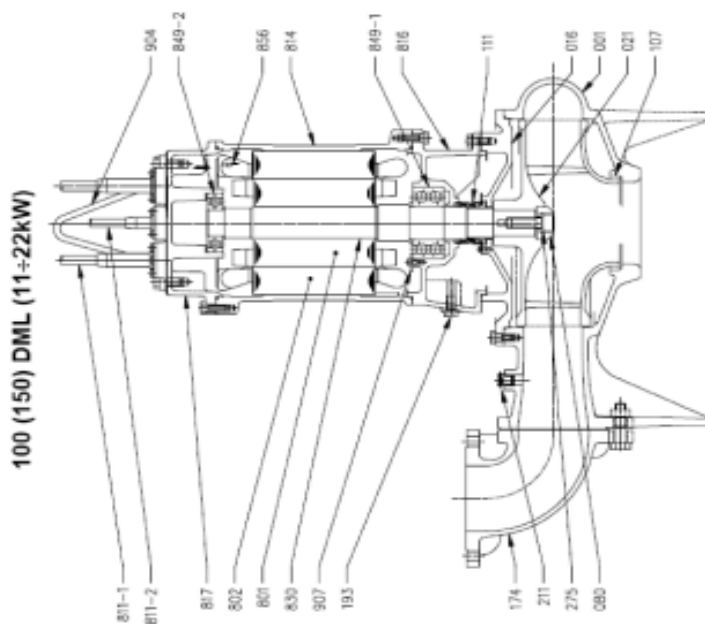
5/ Isla de Juana, Ricardo. “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas” (Bellisco Ediciones, 2005 1ª edición)


## ***Anexo 6***

### ***Planos***

## Anexo 6 PLANOS

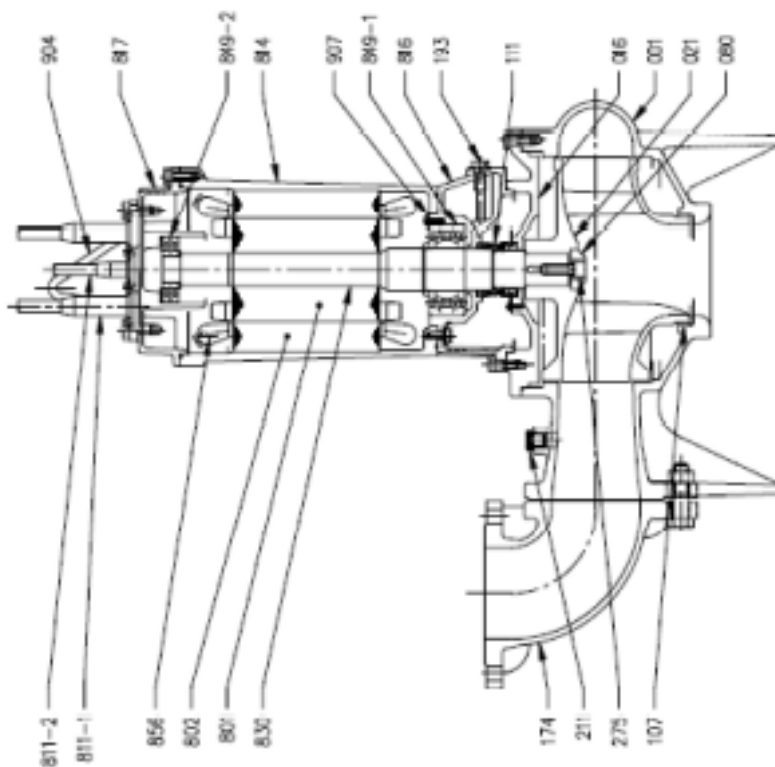
### Plano 1 Despiece bomba 150DML 511




Diseñador: Alejandro Lasheras	Plano 1	Fecha Abril-2012
	Plano: Despiece bomba	Proyecto: Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU

## Plano 2 Despiece bomba 150DML 57.5

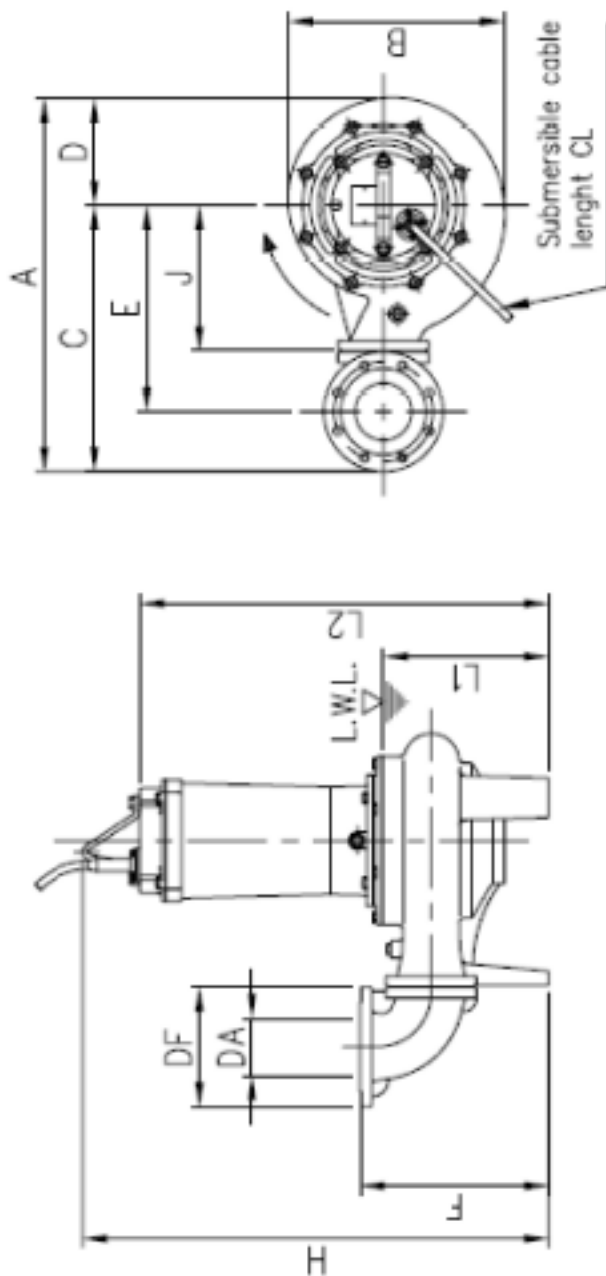
80 (100) (150) DML (3.7÷7.5kW)




Numero	Parte	Materia	Nº unidades
601	Carcasa de la bomba	Hierro fundido IN-GH1.200-EN 1541	1
616	tapa del cierre mecánico	Hierro fundido	1
621	impulsor	IN-GH1.200-EN 1541	1
630	cojinete	Hierro fundido	1
107	anillo	Axero inoxidable	1
111	Sello mecánico	Spence	1
174	cuna de descarga	Hierro fundido IN-GH1.200-EN 1541	1
193	tapón del aceite	Axero inoxidable	1
211	válvula de ventilación	latón	1
275	perno impulsor	Axero inoxidable A2-70 Clase B0 3500/1	1
801	motor	-	1
802	balnear	-	1
811-1	Cable sumergible de potencia	-	1
811-2	cable sumergible de señal	-	1
814	brastador de motor	Hierro fundido	1
816	soporte lateral del motor	IN-GH1.200-EN 1541	1
817	soporte lateral opuesto	IN-GH1.200-EN 1541	1
830	4x	Axero inoxidable A2M03	1
849-1	rodamiento	-	1
849-2	rodamiento	-	1
001	protector láser	-	1
001	aportador de la información	Axero inoxidable	1
080	cubierta	Axero inoxidable	1

Diseñador: Alejandro Lasheras	Plano 2	Fecha Abril-2012
	Despiece bomba 150 DML 57,5	Proyecto: Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU

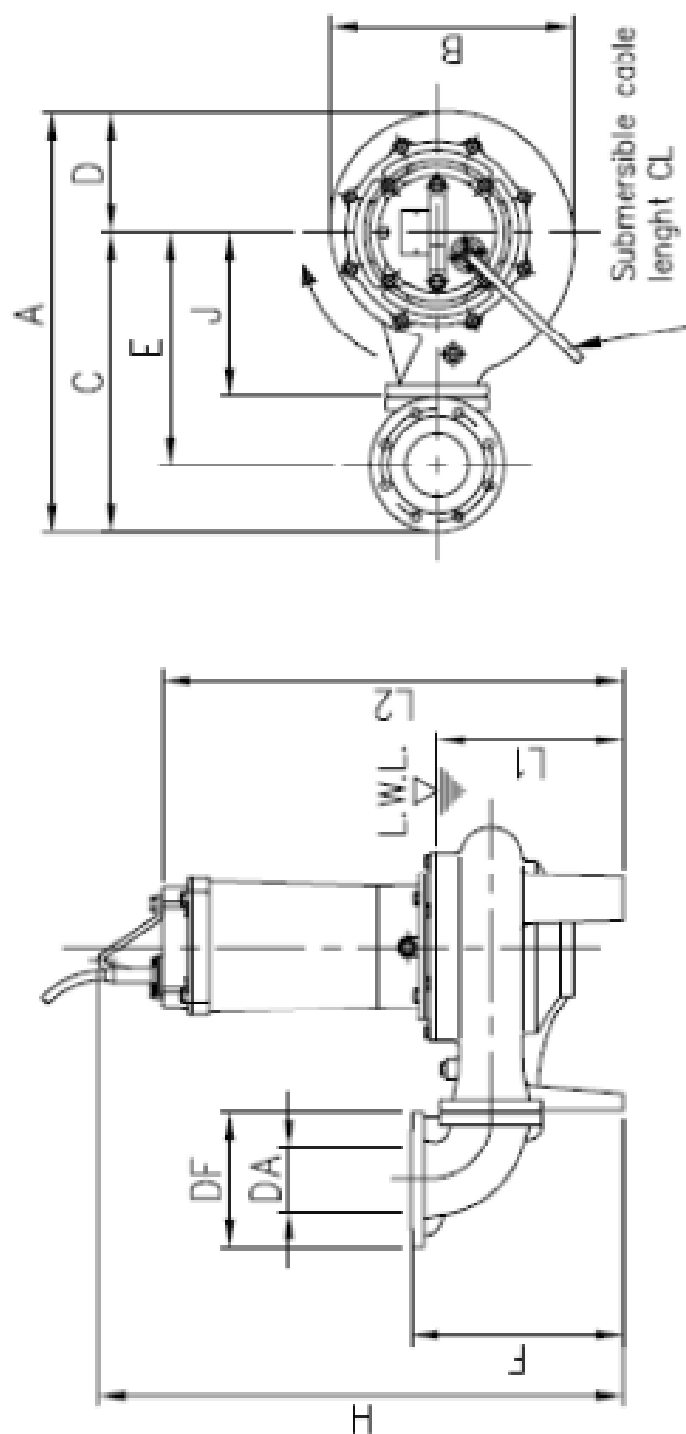
### Plano 3 Dimensiones bomba 150 DML 511




Dimensiones (mm) bomba 150 DML 511											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L2
808,50	455	587,50	221	445	385	938	315	329	778	166	

Diseñador: Alejandro Lasheras		Plano 3 Dimensiones bomba 150 DML 511	Fecha Abril-2012 Proyecto: Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU

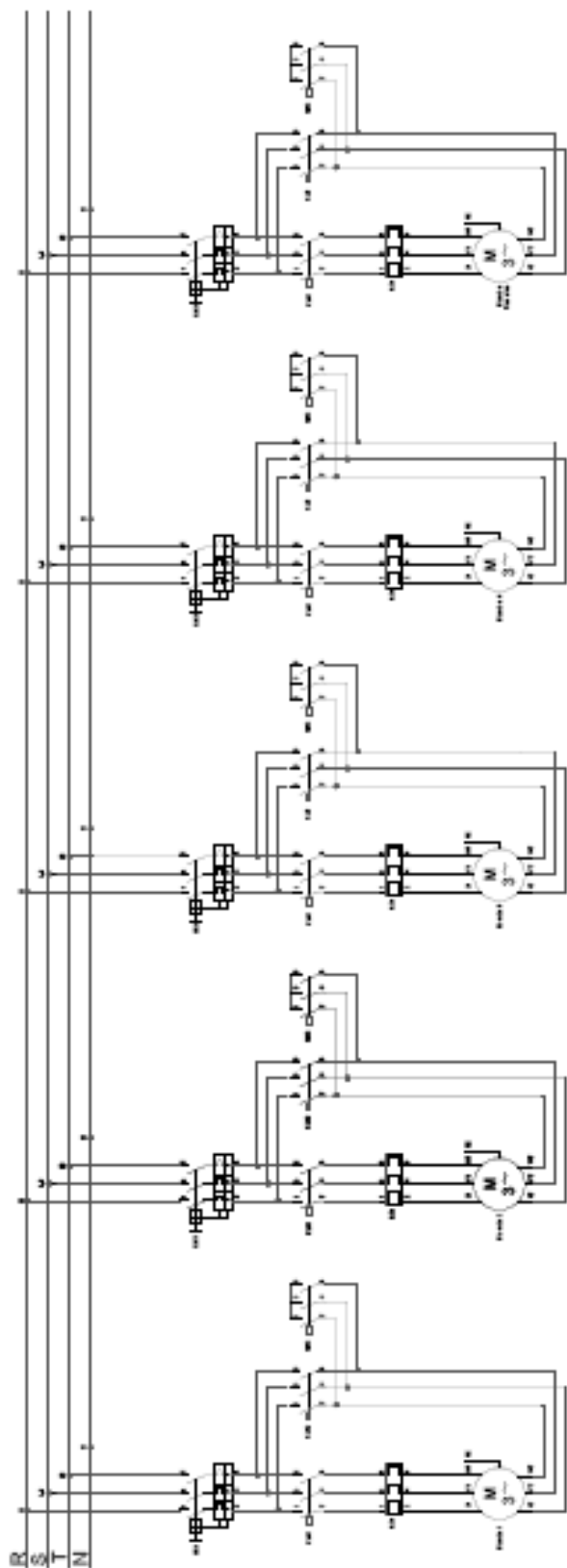
# Plano 4 Dimensiones bomba 150 DML 57.5




Dimensiones (mm) bomba libora 250 DML 511										
A	B	C	D	E	F	H	J	L1	L2	PESO (Kg)
715,50	381	527,50	188	385	369	824	255	310	724	132

Diseñador: Alejandro Lasheras	Plano 4	Fecha Abril-2012
	Dimensiones bomba 150 DML 57.5	Proyecto: Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU

## Plano 5 Esquema eléctrico bombeo de cabecera

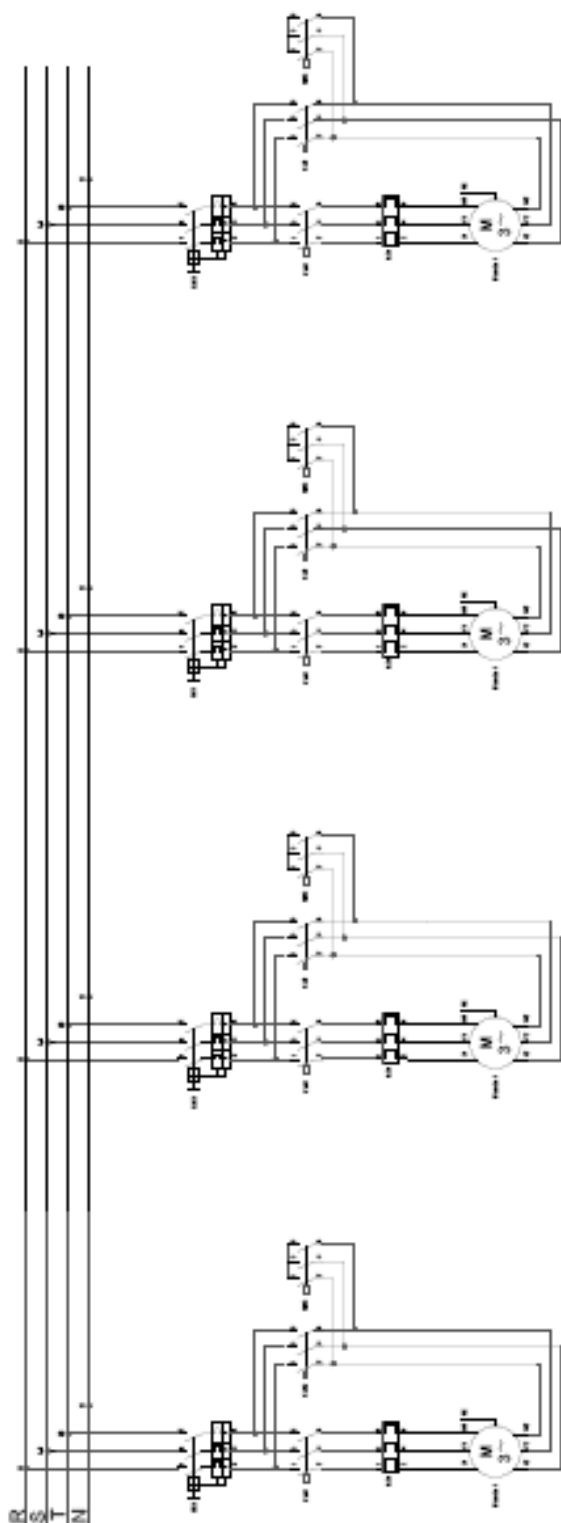


Diseñador: Alejandro Lasheras	Plano 5	Fecha Abril-2012
		Proyecto: Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU

Leyenda	
KM1	Contactor general
KM2	Contactor triángulo
KM3	Contactor estrella
RT1	Relé térmico
QM1	Interruptor Magneto térmico



## Plano 6 Esquema eléctrico bombeo recirculación

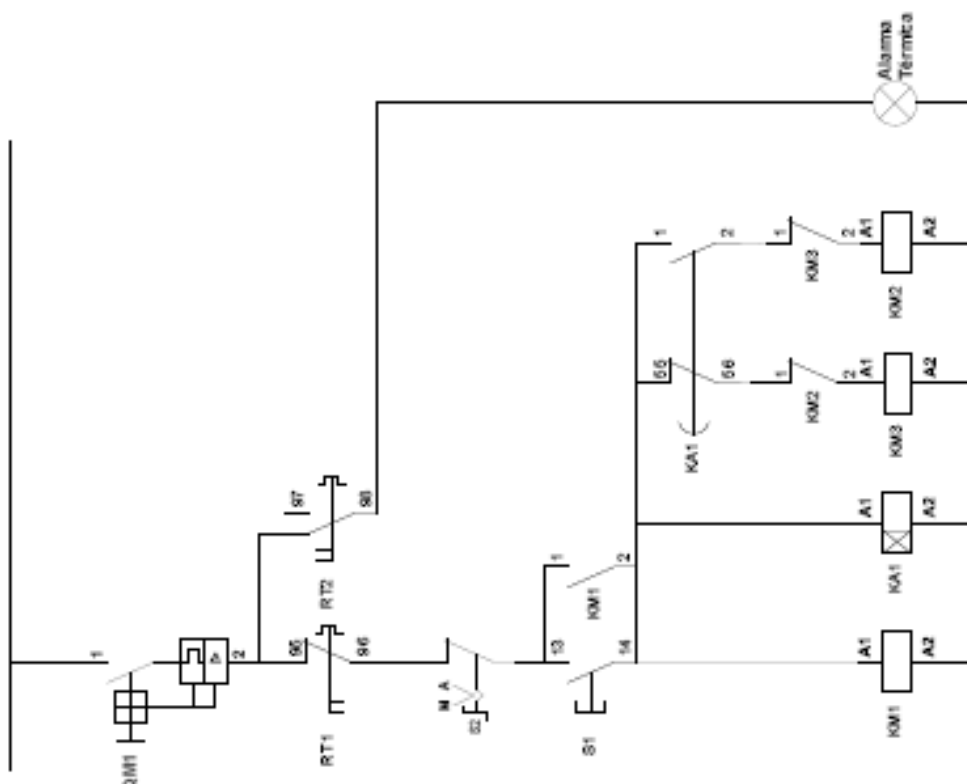



Diseñador: Alejandro Lasheras	Plano 6 Esquema eléctrico bombeo recirculación	Fecha Abril-2012 Proyecto: Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU
----------------------------------	--	---

Leyenda	
KM1	Contactor general
KM2	Contactor triángulo
KM3	Contactor estrella
RT1	Relé térmico
QM1	Interruptor Magneto térmico

## Plano 7 Diagrama control Bombas

Leyenda	
KM1	Contactor general
KM2	Contactor triángulo
KM3	Contactor estrella
RT1	Relé térmico
QM1	Interruptor Magnetotérmico
KM1	Temporizador
S1	Pulsador Start (NA)
S2	Pulsador Stop (NC) con selector Manual-O-Automático



Diseñador: Alejandro Lasheras	Plano 7	Fecha Abril-2012
	Plano: Diagrama Control bombas	Proyecto: Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU